

Bauplan 69

Klaus Schlenzig

Schalten und Zählen mit Kapazitäten

Eingangstür
Besucher
E S
⊥
S
Sende-
elektrode,
vergrößerter
Ausschnitt
(2 seitig Cu-kasch. Hp)
etwa 250 x 250 mm ^{2}
E
Empfangselektrode,
vergrößerter Aus-
schnitt (wie Sende-
elektrode)
(bei dieser Lage
kürzere Leitung
zur Matte)
trocken
(durch Bohrung nach außen)

Inhalt

1. Einleitung

Das Thema dieses Bauplans ist leicht zu erläutern. Dennoch fiel es schwer, dafür einen kurzen, sofort verständlichen Titel zu finden. Es geht um die praktische Nutzung von Veränderungen, die Fremdkörper in elektrischen Feldern verursachen. Das klingt zunächst abstrakt. Durch die Möglichkeiten der CMOS-Technik gewinnt es jedoch für den Praktiker an Interesse.

Allerdings wird in diesem Bauplan CMOS etwas »atypisch« eingesetzt. Das führt zu höheren Ruheströmen als den sonst gewohnten. Man gerät dadurch bisweilen in einen Grenzbereich, wo durchaus auch andere Schaltkreisfamilien ihre Einsatzberechtigung haben. Im vorliegenden Falle sind solche »Nachbarn« z. B. leistungsarme Operationsverstärker. Sie erfordern jedoch andere Randbedingungen für einen möglichst unkomplizierten Einsatz.

Das Hauptobjekt dieses Bauplans nutzt in gewissem Sinne einen Außenseiter der Reihe V 4000 D, den V 4007 D. Doch gerade dieser erlaubt es, in Verbindung mit einem Schmitt-Trigger-NAND vom Typ V 4093 D, die vorgestellten Lösungen sowohl im digitalen wie im analogen Teil zu realisieren. Besonders auf der analogen Seite werden, einsatz- wie schaltkreisbezogen, interessante Wirkungen genutzt, vom reinen Verstärken bis zur Selektion, abgestimmt auf die Frequenz eines im Gerät enthaltenen CMOS-Signalgenerators.

Das vorgestellte kleine Gerät reagiert auf die von Fremdkörpern in elektrischen Feldern verursachten Änderungen und bringt sie zur Anzeige. Man kann auf diese Weise Signale auslösen, Zähler betreiben oder Schaltvorgänge einleiten. Über solche Einsatzmöglichkeiten wird ebenfalls berichtet. Da sich das Gerät bereits bei wenig mehr als 3 V betreiben läßt und dabei (spannungsabhängig) nur zwischen 0,5 und 2,5 mA Ruhestrombedarf hat, kann man es auch »mobil« über mehrere Tage und Nächte hinweg im Dauereinsatz betreiben. Mit Flächenelektroden etwa von der Größe einer A4-Seite gelingt es, noch mehr als 1 m Zwischenraum zu überwachen. Für die Variante »Trittschalter« ergibt sich ein möglicher Abstand zur Sendeelektrode von mehr als 2 m. Das sind durchaus nutzbare Daten. Die mit Frequenzen zwischen 13 und 16 kHz arbeitende Anlage kann auch rein passiv betrieben werden. So läßt sich z. B. das elektrische Feld eines eingeschalteten Fernsehempfängers (Zeilenfrequenz) zum Auslösen von Schaltvorgängen heranziehen. Ein nach diesem Prinzip arbeitender Betriebsstundenzähler wird ebenfalls beschrieben.

Da für das Thema Kapazitäten im Bereich von weniger als 100 pF bis zu etwa 3 nF eine große Rolle spielen, werden die Informationen abgerundet durch spezielle Tips zur Messung kleiner Kapazitäten auf einer tonfrequent betriebenen Meßbrücke. Ihr Grundtyp ist zusammen mit allen Bauhinweisen im zeitgleich zu diesem Bauplan erscheinenden neuen Bauplan-Bastel-Buch 3 enthalten. Sie wird dort jedoch vorwiegend für Widerstandsmessungen vorgestellt.

2. Feldgesteuerte CMOS-Praxis

2.1. Situation

CMOS-Strukturen arbeiten mit elektrischen Feldern: Der Kanal eines Feldeffekt-Transistorelements wird durch eine Spannung in seiner Leitfähigkeit beeinflußt, die an die isoliert aufgebrachte Steuerelektrode angelegt wird. Die Kombination eines n- und eines p-leitenden Transistors führt dazu, daß bei entsprechend hohem oder tiefem Pegel stets (nur) eines der beiden Elemente leitet. Dadurch gibt es im digitalen Einsatzbereich von CMOS-Schaltungen praktisch keinen Ruhestrom. Darin bestehen also die beiden wesentlichen Kennzeichen der CMOS-Technik, die z. B. in den Bauplänen 59 und 62 ausführlich erläutert und mit Beispielen belegt worden ist.

Der Vorteil der im statischen Fall leistungslosen Steuerung bringt den Nachteil der hohen Empfindlichkeit der extrem dünnen Isolationsschicht gegenüber unbeabsichtigt an die Anschlüsse gelangenden Fremdspannungen auch kleiner Energie, sobald ihre Spannung die Durchschlagsfestigkeit der Isolation übersteigt. Jede elektrostatische Aufladung, meist durch Reibung verursacht, stellt also eine Gefahr für solche Strukturen dar.

In den modernen CMOS-Schaltkreisfamilien findet man darum eine Reihe bereits integrierter Schutzmaßnahmen. Absoluten Schutz bieten sie allerdings nicht. Vor allem werden Spannungen, die die Betriebsspannungsgrenzen um etwa 0,5 V in beiden Richtungen überschreiten, mit integrierten Schutzdioden nach den Betriebsspannungsanschlüssen hin abgeleitet. Allerdings kann eine solche Diode leicht zerstört werden, wenn die Stromdichte höher wird, als sie es verträgt. Bekanntlich müssen Dioden stets durch einen Vorwiderstand vor zu hohen Strömen geschützt werden. Wie hoch die Fremdspannung sein kann, läßt sich jedoch nicht immer vorhersehen. Mit der Regel, daß ein solcher Eingangsstrom höchstens 10 mA erreichen darf, bietet also z. B. ein Widerstand von 33 kΩ gegen den Spitzenwert der Netzspannung gerade den nötigen Schutz. Doch gelegentlich auftretende Spannungsimpulse können auch viel höher liegen. Mit der Umwelt direkt in Verbindung stehende CMOS-Eingänge muß man daher zusätzlich schützen. Dieser Schutz hat Grenzen dort, wo die nötigen Serienwiderstände die normale Funktion der Schaltung beeinträchtigen können. CMOS-Eingänge haben üblicherweise etwa 7,5 pF Eingangskapazität, der V 4007 D hat sogar 15 pF. Ein Vorwiderstand bildet mit dieser Kapazität also stets einen Tiefpaß. Höher belastbare, genügend schnelle Dioden in Verbindung mit entsprechend kleineren Widerständen bieten daher für solche Spezialfälle einen besseren Ausweg. Bild 1 zeigt eine mögliche Kombination solcher Schutzmaßnahmen, die die internen Dioden nur als zusätzliche Sicherheit benutzen.

2.2. Übergangsverhalten und der V 4007 D

In Bild 1 ist eine weitere für CMOS nötige Maßnahme enthalten: Nur dann, wenn der Eingang auf einem Potential möglichst nahe zum jeweiligen Betriebsspannungsanschluß gehalten wird, treten die in Digitalschaltungen sehr unerwünschten Querströme nicht auf. Führt nämlich der Eingang, z. B. durch kapazitive Aufladung durch Felder der Umgebung, eine Spannung im mittleren Bereich zwischen Plus und Minus, so befindet man sich im Übergangsteil der Ausgangskennlinie. Das ergibt gemäß Bild 2 einen typabhängig hohen Querstrom. Besonders hoch kann er bei gepufferten Typen wie denen der Reihe V 4000 werden. Auf Grund der hohen Verstärkung besteht außerdem Selbsterregungsgefahr in diesem Übergangsbereich. Eine Ausnahme stellt der Typ V 4007 D dar. Er enthält neben 2 p- und 2 n-Kanal-MOS-Transistorelementen einen ungepufferten Inverter. Sowohl im Zusammenspiel untereinander wie

im Einsatz in Digital- wie in Analogschaltungen bringt das zahlreiche Möglichkeiten. Es lohnt, diesen Schaltkreis etwas näher zu betrachten.

Zunächst gibt Bild 3 eine Übersicht über die für unterschiedliche Zwecke denkbaren Verknüpfungen im digitalen Bereich. Darin sind Maßnahmen enthalten, durch die in einer gewünschten Richtung auch ein höherer Ausgangsstrom erzielt werden kann. Dieses Parallelschalten wird aber nur für Elemente erlaubt, die sich auf dem gleichen Chip befinden!

Der V 4007 D kann aber noch mehr. Gerade dort, wo der Betrieb gepufferter Typen aus genannten Gründen untersagt ist, läßt er sich nutzen, also im mittleren Bereich der Übergangskennlinie. Wenn jeweils ein p- und ein n-Element gemäß Bild 4 miteinander verbunden werden bzw. wenn man den schon fertig vorhandenen Inverter benutzt, stehen insgesamt 3 auch analog verwendbare Inverter-Verstärker zur Verfügung. Ihre Spannungsverstärkung je Stufe erreicht zwar nur 15 bis 20, doch gerade das ist ein recht praktischer Wert. Eine altbewährte Anwendung besteht z. B. in einem Quarzoszillator mit Trennstufe (Bild 5).
Doch auch als nicht rückgekoppelter Verstärker, vorwiegend im Tonfrequenzbereich, kann der V 4007 D interessant sein. Das gilt hauptsächlich dort, wo bei begrenzter Versorgungsspannung (z. B. ab 3 V) ein möglichst hoher Eingangswiderstand verlangt wird. In solchen Fällen erhält der einzelne Inverter einfach zwischen Eingang und Ausgang einen Koppelwiderstand, und das Signal wird über einen kleinen Kondensator zugeführt (Bild 6). Dieser Widerstand im Megaohmbereich (Gleichstrom fließt ja praktisch nicht!) hält den Arbeitspunkt des Verstärkers in der Mitte der Kennlinie zwischen Betriebsspannung und Null. Denn: Steigt die Ausgangsspannung, sinkt dadurch die Leitfähigkeit des oberen Transistors (während die des unteren steigt); sinkt sie, sind die Verhältnisse umgekehrt. Das entspricht einem typischen Gegenkopplungsverhalten. Diese Gegenkopplung wirkt sich auf jeden Fall also im statischen Bereich aus, d. h. für Gleichspannung. Das über einen Kondensator eingekoppelte Wechselspannungssignal wird von ihr nur unter gewissen Voraussetzungen stärker beeinflußt. Das hängt vom Innenwiderstand der Signalquelle ab: Je höher er ist, um so stärker ist die Wechselspannungsgegenkopplung für den Verstärker. All das führt zu einem bestimmten Frequenzgang, wenn Kapazitäten im Spiel sind, also Blindwiderstände, deren Widerstand mit steigender Frequenz sinkt.

Die Größenordnung der im Zusammenhang mit einem CMOS-Verstärker erforderlichen Kapazitäten liegt ungewohnt niedrig, weil die Werte der beteiligten Widerstände so hoch sein können. Das bedeutet: Der kapazitive Widerstand ($1/\omega C$) erreicht für die verwendeten Frequenzen schon bei kleinen Kapazitäten die Zahlenwerte dieser Widerstände. Wo aber kapazitiver und ohmscher Widerstand in einer Schaltung von gleicher Größenordnung sind, ergeben sich Einflüsse auf die Verstärkung dieser Frequenzen. Es tritt eine frequenzabhängige Spannungsteilung auf. Außerdem wird auch die Phasenlage des Signals beeinflußt, denn bei einem idealen Kondensator eilt der Strom der Spannung um eine Viertelperiode der Schwingung voraus. So kehrt sich die Gegenkopplung schließlich in eine Mitkopplung um. Das aber kann zum Selbsterregen des Verstärkers führen, also zum Schwingen auf dieser Frequenz.

2.3. Kleines C mit großer Wirkung

Die einzelnen Elemente des V 4007 D haben Eingangskapazitäten von etwa 15 pF. Der kapazitive Widerstand eines solchen Eingangs gerät also schon bei etwas mehr als 10 kHz mit dem Zahlenwert von 10 MΩ in die Größenordnung des Gegenkopplungswiderstandes! Man kann solche Bedingungen an einer einzelnen Stufe bei definiertem Quellwiderstand noch recht gut näher untersuchen. Die Schwierigkeiten wachsen mit der Zahl der in Serie geschalteten Stufen auf Grund der wachsenden Menge der beteiligten Blind- und Wirkschaltelemente. Für Fortgeschrittene ist eine solche Schaltungsanalyse nicht ohne Reiz. Für eine Serienfertigung muß das gründlich durchgerechnet werden. Der Bauplan wurde auf die praktischen Effekte konzentriert, solange diese reproduzierbar blieben. Aber auch das ist auf Grund der hochohmigen Struktur nicht ganz einfach – schon die Kapazitäten der Bauelemente untereinander und die von Leitungen darf man in ihrer Auswirkung auf das Verhalten der Schaltung nicht unterschätzen! In der konstruktiven Auslegung des praktisch realisierten Objekts konnten diese Effekte jedoch »unter Kontrolle« gehalten werden, so daß die gewünschte Wirkung erreicht wird – gerade mit Hilfe von Frequenzabhängigkeiten.

2.4. Analoges hat seinen Preis

In gewissem Sinne bleibt der Einsatz einer komplementären MOS-Struktur aus einer Digitalreihe für Analogbetrieb etwas Untypisches. Genauso verhält sich der Schaltkreis darum (leider) auch bereits im Ruhezustand. Er tut das, was man bei bipolaren Verstärkern im »A-Betrieb« (also Arbeitspunkt in Kennlinienmitte) als selbstverständlich akzeptiert: Er braucht einen merklichen Ruhestrom. Seine Größe hängt stark von der Betriebsspannung ab. Während man also bei Ruhe, ohne irgendwelche periodischen Pegelwechsel, in einer sauber digital betriebenen CMOS-Schaltung Ströme im unteren Mikroamperebereich erwarten kann, verlangt der V 4007 D im A-Betrieb je nach Speisespannung bereits Milliampere. Bild 7 zeigt die Abhängigkeit dieses Stroms von der Betriebsspannung in der Beschaltung jedes der 3 Inverter gemäß Bild 6. Unterhalb von 3 V ist kein sinnvoller Betrieb möglich.

2.5. Die Welt der Kapazitäten

Für einen Verstärker der vorgestellten Art gibt es eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten, hauptsächlich infolge seines hohen Eingangswiderstandes. Ältere Leser kennen das vielleicht noch aus ihrer Röhrenpraxis: Hochohmige Schaltungen sind für Brumm empfindlich. Der Netzbrumm ist – zumindest in Gebäuden – eine ziemlich allgegenwärtige Erscheinung. Es fällt allerdings nicht ganz leicht, die Zusammenhänge zu übersehen. Warum brummt es in einem an den Verstärkerausgang angeschlossenen Hörer, wenn der Eingang mit Finger, Pinzette oder Schraubendreher berührt wird? Die überall verteilten Netzleitungen und die an sie angeschlossenen Geräte stellen insgesamt eine Art »Glocke« dar, in deren Innern sich der Mensch und sein gerade bearbeitetes Objekt befinden. »Unten« ist die Gegenelektrode, also der Fußboden; eventuell sind in der Nähe auch Wasser- oder Gasleitungen sowie Zentralheizungskörper als weitere Quasi-Masse-Flächen vorhanden.

In Physiklehrbüchern findet man Formeln, mit denen solche Probleme soweit wie möglich abstrahiert werden, damit man zu Anhaltswerten gelangen kann. Es geht also um die Frage: Welche Kapazität hat der Mensch, am Arbeitstisch sitzend, zur vom Netzbrumm verseuchten Umgebung? Denn nur kapazitiv können die Potentiale solcher niederfrequenten Felder durch den Menschen aufgenommen und weitergereicht werden.

Eine grobe Schätzung brachte einen Wert von rund 100 pF. Anschließend wurden »bauplanexclusiv« konkrete Messungen angestellt. Die Ergebnisse kamen diesem Wert recht nahe. Mit einer relativ einfachen Meßbrücke wurden die im folgenden genannten Werte ermittelt. Ein solches Meßmittel ist leicht zu bauen und hat dabei doch einen recht hohen Gebrauchswert. Darum werden die wichtigsten Informationen dazu mit dem vorliegenden Bauplan in einem noch folgenden Abschnitt mitgeliefert.

Doch zunächst die Meßwerte am Arbeitsplatz des Autors, gegen einen Zentralheizungskörper als Massebezugspunkt gemessen:
- Menschlicher Körper auf Stuhl, Füße angezogen: 120 pF,
- 1 Fuß auf dem Fußbodenbelag: 150 pF,
- stehend auf beiden Füßen: 180 pF.

Danach wurde die Wirkung des Netzbrumms auf eine Leiterplattenfläche von etwa 400 cm^2 ermittelt. Es handelte sich um 2seitig kupferkaschiertes Hartpapier mit einer Kapazität zwischen den Belägen von etwa 1300 pF. Die unten liegende Folie wurde mit Masse verbunden. Ein an beide Beläge angeschlossener Oszillograf (R_E = 1 MΩ//50 pF) zeigte eine Spitze-Spitze-Spannung von 0,3 V (50 Hz). Bereits ein aufgelegtes isolierendes Teppichstück (rund 1 cm dick, Gummiboden) erhöhte diese Spannung infolge der größeren Dielektrizitätskonstanten auf 0,45 V. Stellt man einen Fuß auf diese Matte, ergibt sich eine Spannung von rund 0,9 V, bei beiden Füßen werden daraus 1,2 V. Wird die Masseleitung entfernt, steigt die Spannung auf mehr als 3,6 V. Das sind aber eben unter »individuellen« Bedingungen geltende Werte. Ohne Gewähr dafür, daß damit bereits alle Einflußgrößen berücksichtigt worden sind, macht Bild 8 den Versuch, die Verhältnisse bei definiertem Massebezugspunkt zu deuten. Dabei ist ja u. a. zu berücksichtigen, daß der Oszillograf ebenfalls am Netz liegt.

Bild 8 zeigt einen kapazitiven Teiler aus der Körperkapazität C_K, der Kapazität zwischen den Füßen und dem oberen Belag der Flächenelektrode C_F sowie Flächenelektrode gegen Masse C_E. Parallel zu C_K und C_F wirkt eine »Leerlaufkapazität« C_O, die als Ursache für die Grundspannung an der Elektrode zu werten ist. Die Ergebnisse der Spannungsmessung und diese Kapazitätsaufteilung stimmen im Rahmen der Meßunsicherheiten recht gut überein.

Damit liegt eine Ausgangsbasis vor, auf der interessante Anwendungen möglich werden. Kapazitiver Aufnehmer ist eine Plattenelektrode, die Auswerteschaltung wird aus einem V 4007 D gewonnen.

Zur Ergänzung zunächst noch einige Zahlenwerte für verwendete Teile: Handelsübliches NF-Schirmkabel (Außendurchmesser etwa 2,7 mm, Durchmesser der Innenisolation etwa 1,5 mm) hat eine Kapazität von rund 1 pF/cm Leitungslänge. Zweiseitig kupferkaschiertes Hartpapier von 1,5 mm Dicke läßt sich mit 3 pF/cm^2 ansetzen; Cevausit liegt um 10% höher. Eine solche Metalloberfläche bildet mit ihrer Umgebung eine Kapazität von ungefähr 0,1 pF/cm^2. Hinzu kommen die bereits genannten »menschlichen Kapazitäten« als wichtige Anhaltswerte. Bei alldem muß man noch auf eine bisweilen sehr wichtige Eingrenzung achten: Feuchte Umgebung (von der Fußmatte bis zur Tapete) ist eine denkbar schlechte Voraussetzung für Anwendungen kapazitiv wirkender Systeme!

Weiterhin kann mit Netzbrumm als Signal nur dort operiert werden, wo es das Netz gibt. Darum wird ein anderer Weg geboten.

2.6. Frequenz-Entscheidungen

Wo Netzspannung und damit Netzbrumm vorhanden ist und wo man das mit der Aufgabenstellung in Einklang bringen kann, stellt dies die billigste Signalquelle dar. Ganz ohne Tests zu den örtlichen Verhältnissen geht es allerdings nicht.

Als 1. Komplettschaltung für solche Zwecke mag Bild 9 gelten: Der V 4007 D ist im beschriebenen Sinne zusammengeschaltet und zwecks sauberer Trennung der einzelnen Stufen kapazitiv gekoppelt. Bereits 22 nF genügen als Koppelkapazität. Wer versucht, die 3 Stufen galvanisch zu verbinden und mit einem Gegenkopplungswiderstand »über alles« auszukommen, wird an der unweigerlich einsetzenden Selbsterregung scheitern. Die Gründe für solches Verhalten wurden bereits kurz dargestellt. Diesen Effekt zu bekämpfen würde u. a.

voraussetzen, daß der Eingang ziemlich niederohmig abgeschlossen wird, und das widerspricht dem angestrebten Ziel.

Da aus Bild 9 hauptsächlich die Gesamtfunktion zu erkennen ist, zeigt Bild 10 in einer halbsymbolischen Darstellung, wie (auf die Anschlüsse gesehen) dieses Gebilde verdrahtet wird. Man bedenke (mit einem Blick auf die Innenschaltung des V 4007 D z. B. nach Bild 4), daß ja die »Bulks« der einzelnen Elemente ebenfalls definiert an Plus bzw. Minus zu legen sind, je nach Leitfähigkeitstyp!

Sinnvollerweise arbeitet man bei solchen Experimenten mit Schaltkreisfassungen, in die die Schaltkreise erst nach Ende der Lötarbeiten eingesteckt werden. Nicht immer steht aber gerade der vielgefragte 14- oder 16polige Typ zur Verfügung. In letzter Zeit war es häufig leichter, breitere Fassungen höherer Anschlußzahl zu erhalten, z. B. – teilweise recht preiswert – 40polige Typen. Für die Versuche wurde eine solche Fassung einer »Schlankheitskur« unterzogen (Bild 11). Das heißt, sie wurde in der Länge mit der Laubsäge getrennt, und die beiden Teile wurden mit der Feile bearbeitet, bis sie das Rastermaß 7,5 mm in der Breite erreichten. Zusammengeklebt bilden diese Teile die neue Fassung mit 2×20 Kontakten. Wem das zuviel ist, der kann daraus z. B. 2 16polige Fassungen gewinnen. Doch dieser Streifen erwies sich in seiner vollen Länge als ausgezeichnete Experimentierbasis für die weiteren Arbeiten. Auf diese Weise konnte auf dem einen Ende der V 4007 D und in für die Funktion nützlichem Abstand auf dem anderen Ende ein weiterer Schaltkreis untergebracht werden. Mit ihm wurde sowohl die Generatorfunktion für die im folgenden vorgestellte Lösung wie auch die Auswertfunktion für unterschiedliche Nutzung realisiert.

Der 1. Test nach Bild 9 und Bild 10 ist mehr als Funktionsdemonstration für den Verstärker gedacht. Mit einem möglichst hochohmigen Hörer hinter einem Vorwiderstand von einigen Kiloohm zur Entkopplung gegenüber dem Inverterausgang kann der Einfluß des Netzbrumms akustisch nachgewiesen werden. Dazu genügt ein kleines kupferkaschiertes Halbzeugstück am Eingang. Bereits bei dieser Demonstration sollte man jedoch die eingezeichnete Schutzbeschaltung vorsehen, sonst kann der Schaltkreis leicht Schaden nehmen – bespielsweise, wenn man durch Reibungselektrizität aufgeladen ist und in diesem Zustand die Elektrode berührt. Etwas sicherer wird es schon (und diese Koppelkapazität mit hoher Durchschlagsfestigkeit reicht vielfach aus!), wenn eine 2seitig kupferkaschierte Halbzeugplatte gleich als Eingangskapazität benutzt wird. Man berührt dann zur Brummeinkopplung – für den Schaltkreis ungefährlich – die von dessen Eingang abgewandte Seite. In diesem Falle ist die Dioden-Widerstands-Schutzschaltung nicht zwingend nötig, wenn die zur Schaltung führende Rückseite der Platte vor Berühren geschützt wird. Zur Sicherheit gegen höhere Spannungen schält man außerdem einen Rand von 1 cm Breite ringsum ab.

Schon bei der Auswertung im Hörer hat man wegen der Empfindlichkeitskurve des Ohres Probleme mit der Brummfrequenz. Besser ist eine Tonfrequenz im Kilohertzbereich, nicht nur für das unmittelbare Auswerten durch Abhören. Das ist ja in den meisten Fällen nur für Funktionstests von Interesse. Bei höheren Frequenzen ergeben sich insgesamt bessere Auswertemöglichkeiten auf der Schaltungsseite. Dazu gehört vor allem auch die gezielte Nutzung der Resonanzeffekte einer solchen Schaltung. Aus all diesen Gründen und schließlich für den Einsatz unabhängig von der Gegenwart des 220-V-Wechselspannungsnetzes ist eine höhere Signalfrequenz zu bevorzugen.

2.7. Abschied vom Netz

Wenn das System mit einer höheren Signalfrequenz arbeitet, sollte der Netzbrumm nicht ungewollt ebenfalls zur Auslösung führen. Auf der Sensorplatte ist er jedoch nach wie vor vorhanden. Eine Fremdquelle im Kilohertzbereich hat es daher zunächst schwer, sich in diesem Verstärker durchzusetzen. Das zeigt sich z.B. selbst bei einer höhere Frequenzen bevorzugenden Schaltung dadurch, daß die Flanken der den Verstärker übersteuernden Brummspannung die Eigenfrequenz der Schaltung anregen. Auf dem Oszillografen erkennt man an diesen Flanken ausgangsseitig »Bursts« von Schwingungen dieser Frequenz. Da nun auch nicht gerade ein Tonfrequenzgenerator mit 100 V Ausgangsspannung gebaut werden sollte, so daß der Eingang dann weniger empfindlich werden kann, muß man die Netzfrequenz schon am Verstärkereingang möglichst stark dämpfen. Dem kommt der hochohmige Eingang entgegen: Mit relativ kleinen Kapazitäten und hochohmigen Widerständen ergibt sich eine so wirkungsvolle Spannungsteilung für die 50-Hz-Störamplitude, daß dagegen ein Generator mit nur 3 bis 4 V Spitze-Spitze-Wert mühelos ankommt. Konkret: Hinter dem für die Schaltung empirisch ermittelten Eingangsfilter nach Bild 12 liegt die Amplitude der 50-Hz-Spannung um Größenordnungen unter der der Tonfrequenz. Diese wiederum optimiert man am dafür im Generator vorgesehenen Steller auf die Reaktion der Gesamtschaltung hin. Gerade durch dieses Eingangsfilter und die übrigen frequenzabhängigen Schaltungsteile (einschließlich der Eingangskapazitäten!) ergibt sich nun ein Aktivfilter-Effekt, der bei ungünstiger Einstellung der Gesamtverstärkung bis zur Selbsterregung führen kann.

Bleibt man mit entsprechenden schaltungstechnischen Maßnahmen und einer geeigneten Einstellung weit genug unter diesem kritischen Punkt, wo Gesamtphasendrehung und Verstärkung für eine bestimmte Frequenz zur Selbsterregung auf ebendieser Frequenz führen, bietet die Schaltung das Verhalten eines Filters. Auf dessen Durchlaßbereich hin kann der Generator eingestellt werden. Einzelheiten dazu werden noch beschrieben.

2.8. Signalgenerator

Akzeptiert man den kleineren Wirkungsbereich einer kapazitiv in den Raum »streuenden« Signalquelle bei niedriger Signalamplitude, so erweist sich ein System aus Sendeelektrode, menschlichem Körper und z.B. unter einer (trockenen!) Fußmatte verborgener Empfangsfläche als ziemlich empfindlich. Das gilt besonders, wenn ein selektiver Verstärker ausreichender Empfindlichkeit zur Verfügung steht. Im Vorgriff auf die Ergebnisse seien bereits Werte genannt: Eine z.B. in 1 m Höhe an einer nichtleitenden Wand angebrachte kupferkaschierte Hartpapierplatte von etwa 500 cm^2 Fläche befindet sich in mehr als 1 m Entfernung zur Testperson. Über deren Kapazität zu einer Trittplatte der beschriebenen Art unter einer Fußmatte ergibt sich eine Signalspannung im Millivoltbereich, die einen Verstärker mit V 4007 D voll aussteuert. Bei einem Aussteuerwert von etwa 3 V kann die Ruhespannung des Verstärkers am Ausgang des V 4007 D noch zu 1 V zugelassen werden. Diese Spannung ergibt sich als Kompromiß zwischen eingestellter Verstärkung und Sicherheitsabstand zur Schaltschwelle. Für die Auswertung bietet sich also ein Schwellwertschalter an. Damit verläßt das System die Experimentalphase und erlaubt nützliche Anwendungen.

Ein Schaltkreis, der sowohl für diese Auswertung wie auch als Generator geeignet ist, bietet sich im bekannten Schmitt-Trigger-NAND V 4093 D, also ebenfalls einem CMOS-Schaltkreis (Bild 13). Für einen Generator, der die gewünschten Bedingungen erfüllt, genügt 1/4 dieses Schaltkreises. Zur Anpassung an die Mittenfrequenz des Selektivverstärkers wird ein Teil seines frequenzbestimmenden Widerstandes einstellbar ausgeführt (Bild 14).

2.9. Empfängerteil

Die Gesamtschaltung eines selektiven Tonfrequenzverstärkers mit dem V 4007 D für den angestrebten Zweck zeigt Bild 15. Man erkennt das bereits in Bild 12 einzeln wiedergegebene Eingangsfilter, an das sich der Inverterverstärker anschließt. Dessen Verstärkung und damit auch seine Resonanzüberhöhung wird mit dem Stellwiderstand zwischen 1. und 2. Stufe eingestellt. Praktisch wird dazu im endgültigen Schaltungsaufbau ohne angeschlossene Leitungen zunächst der Punkt ermittelt, bei dem die Selbsterregung eintritt. (Dieser Punkt ist auch von den Umgebungsbedingungen abhängig! Dabei spielen kapazitive Kopplungen in der Schaltung eine große Rolle. Der endgültige Aufbau mußte daher mit einer Schirmhaube versehen werden. Erst dadurch ließen sich die Eigenschaften der Schaltung voll ausnutzen.)

Zur Anzeige der Selbsterregung gibt es mehrere Möglichkeiten. Da es sich um eine relativ hoch liegende Tonfrequenz handelt, ist das Abhören hinter einem Entkopplungswiderstand wohl nicht für jedermann die am besten geeignete Methode. Die optimale Frequenz des Musteraufbaus ergab sich zu etwa 14 kHz! Obwohl ein Oszillograf ebenfalls nur selten vorausgesetzt werden kann, gibt es »bauplanintern« noch mindestens 3 Wege. Der 1. ist auch für weiteres Eindringen in die Schaltung recht günstig. Er setzt aber voraus, daß man schon bei Bauplan 53 zum Kreis der Bauplanleser gehörte oder auf das »Bauplan-Bastel-Buch 2« zurückgreifen kann. Der 2. Weg erfordert eine kleine, praktische Hilfsschaltung, auf die noch eingegangen wird. Der 3. Weg schließlich kommt ohne Hilfsmittel aus. In diesem Falle muß jedoch zunächst die Gesamtschaltung aufgebaut worden sein, also auch der Auswerteteil. Er wird dann als Indikator benutzt. Das bedingt besondere Aufmerksamkeit bei deren Herstellung, denn mindestens sie muß dann zunächst einmal richtig arbeiten.

2.10. Auswerteteil und Gesamtschaltung

Da vom V 4093 D für den Generator nur 1 Element gebraucht wird, stehen zunächst noch 3 zur freien Verfügung. Der Ausgang des Empfängers liefert bei genügend starker Einkopplung des Eingangssignals vom Körper her oder auch bei Selbsterregung eine praktisch bis zu den Betriebsspannungsgrenzen reichende Signalamplitude mit »schrägen« Flanken und begrenzter Belastbarkeit. Über ein Kopplungsnetzwerk führt man dieses Signal einem Triggerelement zu. Das Koppelnetzwerk dieser Stufe reagiert nur auf Pegeländerungen. Der Koppelkondensator lädt sich bei H-Pegel positiv zum Ausgang auf. Schaltet der Ausgang dann auf L, entsteht auf der dem nächsten Eingang zugewandten Seite durch den Kondensator eine gegen Masse negative Spannung, vor der der Eingang geschützt werden muß. Das besorgt die dort vorgesehene Diode. Zwischen ihr und dem Eingang liegt ein Widerstand, der den durch die niedrige Flußspannung ohnehin nur noch kleinen möglichen Strom in die Eingangsschutzdiode auf in jedem Falle ungefährliche Werte begrenzt.

Am Ausgang des Triggers tritt bei entsprechender Signalspannung eine praktisch zwischen den Betriebsspannungsgrenzen pendelnde Rechteckspannung auf, wenn der Ausgang gering genug belastet wird.

Der Hersteller schreibt vor, daß CMOS-Ausgänge mit höchstens 5 nF kapazitiv belastet werden dürfen. Man liegt auch im Fehlerfall innerhalb dieser Grenzen, wenn das Signal wiederum über nur 4,7 nF ausgekoppelt wird. Diese Kapazität reicht für die folgende Schaltung (Bild 16) auch aus, da die zu verarbeitende Frequenz genügend hoch liegt. Man erkennt eine Art Spannungsverdopplerschaltung. Daß dennoch die Ausgangsspannung in den Betriebsspannungsgrenzen bleibt (für CMOS unbedingte Voraussetzung), liegt an der Art der zugeführten Spannung. Sie pendelt ja, wie schon gesagt, zwischen maximal U_{DD} und Null. Der

Koppelkondensator und die nachfolgende Schaltung nehmen auf die Ausgangsregeln und auf die Erweiterung nach Bild 17 Rücksicht.

Das nächste Triggerelement stellt eigentlich bereits den Mindestaufwand für eine Schaltstufe dar, mit der vom Signal gesteuerte Wirkungen ausgelöst werden können. H am Eingang (also bei Signal) bedeutet L am Ausgang. Damit kann mindestens schon (mit bescheidener Helligkeit) eine Leuchtdiode von Plus her betrieben werden bzw. ein aktiver Piezosummer. Oder ein Schalttransistor setzt auf größeren Ausgangsstrom um usw. – also im ganzen die üblichen vielfältigen Möglichkeiten mit wachsendem Energiebedarf der Steuerschaltung bis hin zum optokopplergeschalteten Triac.

Die Schaltung kann jedoch bereits von sich aus wesentlich mehr, wenn man das noch freie 4. Triggerelement einbezieht, wie Bild 17 zeigt. Je nachdem, ob der Schalter »Memory/Reset« geöffnet oder geschlossen ist, wenn ein Signal eintrifft, wird das nur für die Dauer des Ereignisses angezeigt oder so lange, bis »Reset« durch kurzes Öffnen des Schalters bewirkt wird. Für die Gesamtschaltung (Bild 18) wurde dieses Detail noch ausgebaut, wie schon in Bild 17 eingetragen. Der Indikator bleibt in Memory-Stellung zur Einsparung von Betriebsstrom abgeschaltet, bis man ihn abfragt. So kann also später z. B. festgestellt werden, ob etwa der überwachte Bereich betreten worden war. Auch dazu gibt es Varianten. Mit 1 µF, wie vorgesehen, erreicht man eine sparsame, kurze Informationszeit. Mit – grob gerechnet – 1 s/µF kann bei größerem Kapazitätswert auch länger angezeigt werden. In diesem Falle muß aber auch das Signal länger anliegen, nämlich etwa 2 s/100 µF. Anderenfalls wird der Kondensator von der Gleichrichterschaltung auf Grund des Quellwiderstands nicht ausreichend weit aufgeladen.

2.11. Stromversorgung

Für eine möglichst vielseitige Verwendbarkeit dieser zunächst ziemlich »wertneutralen« Einrichtung sollte sie handlich bleiben. Bei Batteriebetrieb und damit auch frei von direkten Netzverkopplungen erwartet man eine akzeptable Betriebszeit. Beides läßt sich für häufigen mobilen Einsatz recht gut in Einklang bringen, wenn wiederaufladbare R6-NK-Zellen benutzt werden (»Walkman-Typen«). Für nur gelegentliche Nutzung genügen normale R6-, für längere, jedoch seltenere Einsätze empfehlen sich Alkali-Mangan-Zellen. Ihr niedrigerer Preis und die leichte Beschaffbarkeit sprechen mindestens bei kürzeren Einsätzen eindeutig für die normale R6. Die untere Funktionsgrenze der Schaltung bei etwas mehr als 3 V erfordert für einen ausreichenden zulässigen Spannungshub 3 Zellen. Die Anfangsspannung dieser Batterie von deutlich mehr als 4,5 V ergibt allerdings eine Gesamtstromaufnahme (ohne Indikator) von etwa 2,4 mA. Bei Signalempfang geht dieser Strom zunächst auf etwa 1,6 mA zurück, bis der Indikator anspricht. Das bedeutet mit Leuchtdiode knapp 6 mA und etwa 2,5 mA bei Piezosummer. Im unteren Grenzbereich der Spannung kommt die Schaltung dagegen mit rund 500 µA Ruhestrom aus. Wären dazu nicht einiger Aufwand und zusätzlicher Strombedarf zu erwarten, würde sich also eine Vorstabilisierung auf etwa 3,2 V anbieten. Doch auch 2,4 mA Anfangsstrom sind für Memory-Betrieb schon ein recht guter Wert. Man kommt dabei mit einem Satz normaler R6-Elemente erfahrungsgemäß auf über 250 Betriebsstunden. Das bedeutet 10 Tage und Nächte Dauerbetrieb.

Mindestens eine Größenordnung mehr bietet eine Batterie aus 3 Monozellen R20. Eine denkbare Kombination besteht darin, für Mobileinsatz 3 NK-Zellen R6 zu benutzen, deren mittlere Spannung von nur 3,6 bis 3,9 V den Ruhestrom auf die 1-mA-Grenze senkt, und stationär eine R20-Batterie vorzusehen, die sogar die NK-Zellen nachladen könnte.

Es gibt also viele Varianten und – bei Neuabgleich auf Grund der veränderten Feldverhältnisse – auf jeden Fall auch die Möglichkeit, die Einrichtung stationär aus einem kleinen Netzteil zu speisen. Bei entsprechenden Lichtverhältnissen könnte man sich künftig sogar Solarzellenbetrieb (am besten wieder in Verbindung mit NK-Zellen) vorstellen.

2.12. Aufbau

Zur Gesamtschaltung nach Bild 15 bis 18 entstand die Leiterplatte nach Bild 19. Sie wird gemäß Bild 20 bestückt. Unter Einsparung jeglicher Bohrungen bedient man sich dazu der SMD-Technologie. Fotos der Musterplatte und der bestückten Platte zeigen die Bilder 21 und 22. Die Stückliste erleichtert das Zusammentragen der Teile.

»Surface mounted devices« stellen bekanntlich eine zukunftsorientierte technologische Variante des alten Problems dar, Leiterplatten möglichst rationell zu bestücken. Zur »Eingewöhnung« wurde bereits im vorigen Bauplan von der Oberflächenmontage Gebrauch gemacht. Sie ist in der Variante mit Masse-Gegenelektrode auf 2seitig kaschiertem Leiterplattenmaterial ja auch eine günstige Lösung für Hochfrequenzschaltungen wie die von Bauplan 68. Auch diesmal spricht einiges dafür, denn hochohmige Schaltungen, bei denen also schon kleine Kapazitäten unerwünschte Einstreuungen und Verkopplungen ergeben, müssen vor diesen Störeinflüssen geschützt werden. Was nützt das beste Eingangsfilter, wenn unerwünschte Felder über andere Wege in die Schaltung gelangen! Form und Größe der Leiterplatte knüpfen ebenfalls an den vorangegangenen Bauplan an. Auch dieses Mal eignet sich eine Magnetband-Kassettenhülle (»Kassettencontainer«) gut als Gehäuse (Bild 23), in das sich im vorliegenden Falle sogar 3 statt 2 R6-Elemente einfügen lassen. Dabei bleibt ein toter Raum, der jedoch für das Anschließen der Zuleitung genutzt wird.

Im Muster wurde die fertige Baugruppe, mit einer aus flexiblem Halbzeug gefalteten und an Masse gelegten Schirmhaube versehen, einfach eingelegt. Anschließend klappt man den Container zu. Das gelingt allerdings nur vollständig, wenn mit einer Rundfeile in der Leiterplatte etwas Platz für die beiden Koaxanschlußbuchsen geschaffen wird. Sonst bleibt ein allerdings wenig störender »Luftspalt«. Mit einem Klebestreifen läßt sich die Hülle jedenfalls leicht verschließen und wieder (für Batteriewechsel oder Abgleich) öffnen. Die Fotos zeigen aus Übersichtsgründen noch die Ausführung ohne Schirmhaube. Sie ist mindestens für den Einsatz mit geerdeter Masseseite gut geeignet.

Die soeben genannten Koaxbuchsen sind aus der TV-Technik bekannte Antennenbuchsen. Man muß die zugehörigen Stecker aber nun nicht gerade mit dem dafür viel zu steifen Antennenkabel verbinden. Es genügt die bereits weiter vorn bezüglich ihrer Leitungskapazität erwähnte NF-Schirmleitung. Am besten eignen sich dafür die für Schraubanschluß vorgesehenen und mit Kabelschelle versehenen Stecker. Schirmleitung jedenfalls muß sein, sonst greift die Sendeleitung bereits ab Ausgangsstecker so intensiv auf die Eingangsleitung über, daß es keiner weiteren Elektrode bedarf, damit Signal ausgelöst wird.

Gleich am Eingangsstecker läßt sich bei Bedarf ein kleiner 1-MΩ-Steller zwischen Leitung und Masse mit Schleifer am Stecker anbringen. Das erleichtert bei ungünstigen Feldverhältnissen (im Sinne zu hohen Ruhepegels) besonders im erdfreien Mobilbetrieb das Einstellen eines genügend weit unter dem Ansprechwert bleibenden Grundpegels.

Die Leitungskapazität begrenzt die mögliche Entfernung zum Gerät auf wenige Meter. Das betrifft allerdings auf Grund der schon erläuterten Verhältnisse mehr die Empfängerseite. So sollte man stets versuchen, die Eingangsleitung kürzer zu halten als die Sendeleitung.

Die Koax-Buchsen werden mit kleinen 2seitig kupferkaschierten Halbzeugstücken gemäß Bild 24 auf die Leiterplatte gelötet. Für die Batteriekontaktierung geben die Bilder 25

und 26 Hinweise. Als Batteriekammer wird der durchsichtige Deckelteil verwendet. Aus einem Stück Federmessing wird mit Blechschere und Zange ein Teil hergestellt, dessen auf etwa 1 mm um 90° umgebogene Laschen thermisch mit dem Lötkolben in die Deckelseite eingedrückt werden. Das ist der Kontaktteil für die Plusseite der letzten und die Minusseite der vorletzten Zelle. Die 1. Zelle, die in Serie zur vorletzten eingelegt wird, findet einen Halbzeugstreifen als Gegenstück. Dieser ist Teil eines 3dimensionalen Gebildes, wie dargestellt, das gleichzeitig die Minusseite der 1. Zelle kontaktiert. Dort wurde ein haarnadelförmig gebogenes Stück Schaltdraht um das 2seitig kaschierte Halbzeugstück gelegt und angelötet. Es verbessert die Kontaktbedingungen zum Zellenboden hin. Durch beidseitiges Unterbrechen der Leiterbahn des Distanzstücks, an das die beiden Halbzeug-Kontaktplättchen angelötet werden, erhält man die Anschlußflächen für die Zuleitungsdrähte für Plus und Minus. Das Einlegen und Herausnehmen der Zellen gestaltet sich mit dieser Konstruktion recht günstig.

Die Leiterplatte trägt 2 Simeto-Schalter. Einer davon wirkt als Einschalter, auf den sich bei dieser CMOS-Anwendung nicht verzichten läßt. Mit dem anderen wählt man zwischen Direktbetrieb (Anzeige bei Eintritt des Ereignisses) und Speicherbetrieb. Im Speicherbetrieb wird die Meldung bis zur Abfrage »dunkel« über die dann eingeschaltete Rückführung gehalten. Das Umschalten auf Abfrage entspricht der direkten Betriebsart. Jedoch reicht die Ladung des Kondensators von 1 μF genügend lange, um eine eindeutige Signalisierung zu ermöglichen, intern über die dabei für etwa 1 s leuchtende Leuchtdiode, bei angeschlossenem Piezosummer durch einen ebenso lange andauernden Signalton.

Die Montage der Schalter erfordert infolge der begrenzten Bauhöhe Abschneiden ihrer Anschlüsse dicht oberhalb der Lötfahnen (Bild 27). Die verbleibenden Anschlußbeine werden entsprechend dem Leiterbild abgebogen und kantendeckend auf die vorgesehenen Anschlußflächen gelötet. Da die Schalter nur in Längsrichtung betätigt werden und die obere Begrenzung durch das Gehäuse gegeben ist, ergibt sich ein genügend fester Halt. Belastungen quer zum Schalter sollte man jedoch unbedingt vermeiden.

Bei dieser Montage muß man mit einigen Toleranzen rechnen. Aus diesem Grund sollte die genaue Lage der im Gehäuse erforderlichen Öffnungen erst danach festgelegt werden. Bild 28 gibt Anhaltswerte dazu. Das betrifft auch die Öffnung für die Leuchtdiode. Für die Steller sind die angedeuteten Bohrungen nicht zwingend erforderlich, da man auch bei geöffnetem Gehäuse einstellen kann. In der Schirmfolie müssen sie jedoch vorhanden sein. Da aus Potentialgründen nur nichtleitende Werkzeuge für den Abgleich in Frage kommen, besteht keine Kurzschlußgefahr zur Folie und damit zur Masse beim Einstellen. Ein eventuell in einen Plaststiel eingesetztes Metallplättchen darf also nicht zu lang sein. Die Lageskizze nach Bild 29 informiert darüber, wo Verstärkung und Frequenz einzustellen sind. Das Leiterplattenfoto des Musters (Bild 22) gibt weitere Aufschlüsse, abgesehen von den nachträglichen Änderungen, die der Probebetrieb brachte. So entfiel ein ursprünglich vor dem Trigger eingebautes Potentiometer!

Generell sollte man vor der Montage jedes Bauelement bezüglich seiner Anschlüsse geeignet vorbehandeln (Biegen, Abschneiden, Vorverzinnen). Auch eine dünne Zinnschicht auf den Leiterflächen ist zu empfehlen. Die Schaltkreise können auf 3 Arten angebracht werden: über geeignete Fassungen, die möglichst schmal sein müssen, mit vorsichtig rechtwinklig nach außen abgebogenen Anschlüssen, deren danach flach liegende Teile auf etwa 1 mm zu kürzen sind, oder – wie im Muster – einfach auf die verzinnten Lötflächen gestellt und mit schlanker Lötkolbenspitze einzeln »punktweise« angelötet. Diese Art erleichtert eine Demontage, erfordert aber große Sorgfalt und Kontrolle, ob tatsächlich alle Anschlüsse mit der Leiterplatte verbunden sind.

Abschließend darf man nicht vergessen, die untere Folienseite über einen übergreifenden dünnen Draht mit Schaltungsmasse zu verbinden!

Das Mustergerät wurde vorwiegend für LED-Anzeige ausgelegt. Ein Piezosummer paßt ohnehin nur außen auf das Gehäuse, wie Bild 30 zeigt. Eine Ohrhörerbuchse dafür ließe sich beispielsweise auf der Batterieadapterplatte befestigen, wenn ein Stück der durchsichtigen Deckellasche abgesägt wird.

Bild 31 deutet diese Möglichkeit an. Eine Gesamtansicht des Mustergeräts im aufgeklappten Zustand zeigt Bild 32. Die bei diesen Bildern noch fehlende Schirmhaube wird nach den in Bild 33 enthaltenen Richtmaßen aus flexiblem Halbzeug hergestellt. Solches Material ist z. B. im seit etwa 1987 angebotenen Ätzset des VEB EPW Neuruppin enthalten. Es läßt sich gut mit der Schere bearbeiten, falten und löten. Die Isolierseite kommt selbstverständlich nach innen. Beim Aufsetzen ist zu berücksichtigen, daß die Batterieseite eine schräge Wand erfordert, und mit einem Klebestreifen muß Kurzschlüssen vorgebeugt werden. Die Folie darf nur mit Masseflächen der Leiterplatte Verbindung haben. Die übrigen Partien sind zu kürzen oder (und) ebenfalls mit Klebefolie zu isolieren. Auch für die Anschlußbuchsen werden Aussparungen angebracht, und die Schalter bleiben ganz außerhalb. (Ihre Metallgehäuse sind mit Masse zu verbinden!)

Der im folgenden beschriebene Abgleich bezieht sich auf den Zustand mit aufgesetzter Schirmhaube. Das ist wegen des Einflusses bereits von kleinen Kapazitäten auf das Schaltungsverhalten ebenso wie wegen der Einkopplungsgefahr wichtig!

2.13. Abgleich

Bereits Abschnitt 2.9. enthält einige Informationen zum Schaltungsverhalten. Von den Möglichkeiten für die Einstellung des optimalen Zusammenspiels wurde die folgende gewählt.

Zunächst werden Sender und Auswerteteil gemeinsam getestet. Das bedeutet, das sonst vom Empfängerteil weitergegebene Signal wird direkt vom Generator entnommen. Das setzt allerdings voraus, daß dieser selbst funktioniert. Immerhin hat man einen CMOS-Schaltkreis eingelötet! Auf Grund des Begrenzungswiderstands vor dem Steller für die Generatorfrequenz müßte, sofern die Widerstände selbst in Ordnung sind, der Generator bei einwandfreiem Schaltkreis eigentlich arbeiten. Nur ist die Frequenz für einen Direktnachweis ohne Oszillografen je nach Stellung des Schleifers auf dem Stellwiderstand etwas hoch. An meßtechnischen Voraussetzungen sollte ein hochohmiges Voltmeter vorhanden sein. Das Analog-Multimeter aus Bauplan 53 (100 kΩ/V) oder ein Gerät wie Uni 11 o. ä. kann bis auf Messungen an CMOS-Eingängen schon fast alle erforderlichen Meßaufgaben übernehmen. (Man bedenke, daß dies ja keine reine Digitalschaltung ist, wo nur die Pegel L und H herrschen!) Sofern man am Generatorausgang eine Spannung mißt, die etwa der halben Betriebsspannung entspricht, dürfte der Generator schwingen. Deutlicher erkennt man das mit einem provisorisch parallel zum Generator-C gelegten Elektrolytkondensator von 4,7 bis 22 μF. Jetzt pendelt der Instrumentenzeiger deutlich zwischen L und H, wobei die Ausschlag-»Tiefe« um so größer wird, je kleiner die Frequenz ist. Und die läßt sich ja mit dem Steller beeinflussen. Daraus ergibt sich: Schaltkreis o. k., Widerstände o. k., Einstellbarkeit gegeben. Der 1,5-nF-Kondensator bleibt die einzige Unsicherheit. Doch den kann man vor dem Einbau testen, z. B. auf der in diesem Bauplan mit vorgestellten Meßbrücke.

Man kann auch so testen: Ein Ohrhörer wird mit einem Serienwiderstand von wenigstens 4,7 kΩ an den Generatorausgang gegen Masse gelegt. Bei voll eingeschaltetem Stellwiderstand müßte man in den besser hörbaren Frequenzbereich kommen, wenn alles stimmt. Damit ist der Generatorteil komplett getestet. Danach wird der Schleifer seines Stellers etwa auf Mitte gedreht. Das Ausgangssignal läßt sich nun für die Auswerteschaltung verwenden. Dabei muß der Memory-Schalter in Stellung »Direktbetrieb« stehen! Man löst jetzt den Kon-

densator vom Ausgang 12 des V4007D und verbindet ihn mit dem Ausgang des Generators. Am besten wird das Signal gleich an der Ausgangsbuchse entnommen. Zuvor jedoch kann gemessen werden: Am Ausgang des folgenden Triggerelements muß etwa Betriebsspannung vorhanden sein, ebenso am Ausgang des nächsten, während der LED-Ausgang auf Null liegen muß. Nach dem Anschluß des Generators nimmt der 1. Ausgang eine Spannung zwischen Null und Betriebsspannung an, wenn mit einem Gleichspannungsinstrument gemessen wird. Er folgt also der Eingangssteuerung vom Generator, und zwar invertierend. Wird der Generator wieder abgetrennt und dieser Eingang direkt am Schaltkreis mit Plus verbunden, muß der Ausgang statisch auf L schalten. Damit ist auch dieses Element in Ordnung.

Eigentlich schon während dieses Tests müßte auch die Leuchtdiode ansprechen, und am Kondensator hinter den Gleichrichtern sollte – hochohmig – eine Spannung von wenigstens etwa 70% von U_{DD} zu messen sein. Das ist die Voraussetzung für das Umschalten des Triggerausgangs auf L, so daß das letzte Triggerelement auf H schaltet. Dadurch spricht dann die Leuchtdiode an.

Auch hierzu ein für eine eventuell erforderliche Fehlersuche nützlicher Test: Kondensatorpunkt mit U_{DD} verbinden – auch dabei muß die Leuchtdiode ansprechen.

Eine häufige Fehlerursache liegt darin, daß man die Dioden falsch eingelötet hat. Die Montage von oben her mit Blick auf die Leiterfläche erfordert etwas Umdenken.

Nun wird es Zeit, sich dem Empfängerteil zuzuwenden. Mit dem Gleichspannungsvoltmeter läßt sich feststellen, ob die einzelnen Stufen im aktiven Bereich vorgespannt sind. Dazu wird die Spannung an den Ausgängen 8 (13), 1 (5) und 12 gemessen. Sie muß etwa der halben Speisespannung (U_{DD}) entsprechen. Die Ausgänge sind für eine solche Gleichspannungsmessung mit den heute üblichen Analoginstrumenten von 20 kΩ/V genügend niederohmig, so daß sich eine verläßliche Aussage ergibt. Sollte sich ein Ausgang anders verhalten, so kann das die folgenden Ursachen haben:

- Ausgangsspannung fast gleich U_{DD}: Kurzschluß Eingang – Masse
- Ausgangsspannung fast gleich Null: Kurzschluß Eingang – U_{DD} oder defekter Widerstand zwischen Eingang und Ausgang, so daß sich der Eingang undefiniert aufgeladen hat. Test dazu: Eingang gegen Masse kurzschließen und Ausgangsspannung messen. Sie muß jetzt etwa gleich U_{DD} sein. Vorsicht bei diesem Test bezüglich des Eingangs – nur zuverlässig mit Masse verbundene Prüfleitung benutzen!

Nach Herstellen der Verbindung von 12 zum Triggerteil (über 4,7 nF) beobachtet man die Leuchtdiode oder eine statt dieser bzw. parallel zu ihr angeschlossene aktive Piezokapsel (Polarität beachten!). Tritt bereits jetzt ein Signal auf, Schleifer des vorerst auf Mitte gestellten »V«-Stellers langsam zurückdrehen, bis das Signal aussetzt. Bei diesem Verhalten kann man im allgemeinen folgern, daß das Gerät prinzipiell funktioniert. Das Ansprechen auch ohne angeschlossene Elektroden hat dabei seine Ursache im selektiven Verstärker, wie bereits geschildert. Seine Bereitschaft zu schwingen hängt vom eingestellten Teilwiderstand des »V«-Stellers zwischen 1. und 2. Stufe ab. Je kleiner dieser Wert, um so leichter wird der Verstärker durch ein äußeres Ereignis zum Schwingen gebracht. Dicht vor dem Einsatzpunkt genügt dazu schon das Eigenrauschen oder auch die Berührung mit einem leitenden Gegenstand. Als Folge tritt am Ausgang 12 eine trapezförmige Schwingung mit relativ steilen Flanken auf. Ihr Spitze-Spitze-Wert entspricht im unbelasteten Zustand etwa U_{DD}. Da der nachfolgende Trigger schon bei (typisch) 70% dieses Werts ausgangsseitig auf L und bei 30% wieder zurück auf H schaltet, wird der Auswerteteil von der Eigenschwingung voll ausgesteuert. Nochmals sei darauf hingewiesen, daß bei den Tests auf Direktbetrieb geschaltet sein muß!

Zum weiteren Abgleich (falls bis dahin noch kein Signal aufgetreten war) wird der »V«-Steller langsam auf kleinere Werte gedreht. Dafür wie auch für die weiteren Stellvorgänge sollte, wie schon angedeutet, ein nichtmetallischer Schraubendreher verwendet werden. Anderenfalls wird oft schon vom Werkzeug selbst oder von der Hand her zuviel Störspannung in die Schaltung eingekoppelt, vor allem vom Generatorteil. Am dauerhaftesten ist ein PVC-Rundstab für diese Arbeiten, in den thermisch ein kleines Metallplättchen eingedrückt wurde.

Am »V«-Steller sucht man nun den Ansprechpunkt der Selbsterregung und dreht dann etwas zurück. Das bei Selbsterregung einsetzende Leucht- bzw. Tonsignal muß nun wieder aussetzen. Nach dieser Einstellung reicht im allgemeinen die Handkapazität aus, um in einigen Millimetern Abstand vom Bereich der Gerätebuchsen den Indikator wieder ansprechen zu lassen. Beim Zurücknehmen der Hand schaltet der Auswerteteil erst etwa 1 s später ab. Das liegt am 1-μF-Kondensator im Gleichrichterteil, der für die Memory-Meldung eine ausreichende Anzeigezeitspanne sicherstellt. Bleibt der Indikator nach Zurücknehmen der Hand jedoch eingeschaltet, war der »Resonanzsteller« noch zu kritisch eingestellt, und man muß noch etwas zurückdrehen.

Die Anlage ist nun für den Bereich der Generatorfrequenzen so empfindlich, daß schon wenige Pikofarad zwischen Eingang und Ausgang ein Dauersignal liefern. Das läßt verstehen, warum es ohne Schirmleitung zu den Elektroden nicht geht. Jetzt kann man also beide anschließen. Im Bereich von je etwa 1 m Leitungslänge ergeben sich jeweils etwa 100 pF Leitungskapazität. Den Sender stört das wenig, bis auf die Tiefpaßwirkung in Verbindung mit dem Schutzwiderstand am Ausgang. Stärker beeinflußt es die Wirkung der Empfangselektrode. Mit ihr und der »Sendekapazität« (also dem Alarm auslösenden Körper) bildet diese Kapazität einen Spannungsteiler. Die Anlage hat aber einige Reserven. Das zeigt sich zunächst einmal daran, daß sie meist bereits anspricht, wenn die Leitungen und damit die vorerst in möglichst großem Abstand zwischen sich und zum Gerät angebrachten Elektroden angeschlossen worden sind. Dabei sind 2 Fälle zu unterscheiden, abgesehen von den nicht zu unterschätzenden verändernden Einflüssen bei Anschluß von Meßmitteln, besonders, wenn diese mit Netz oder Umgebungserde gekoppelt sind. Die beiden Einsatzfälle beziehen sich ebenfalls auf solche Einflüsse.

1. Die Anlage soll »mobil« betrieben werden und keinerlei leitende Verbindung zur Umgebung haben. Das bedeutet meist ziemlich undurchsichtige Kapazitäts- und Feldverteilungen, was sich in einem ziemlich hohen Grundpegel in der Schaltung bemerkbar macht. Die Anzeige dieses Grundpegels mit einem recht einfachen Meßmittel wird noch beschrieben.
2. Die Anlage kann mit Umgebungserde verbunden werden. In diesem Falle ergibt sich ein meist wesentlich kleinerer Grundpegel, allerdings verbunden auch mit kleinerem Nutzsignal.

Im allgemeinen ist es also erforderlich, für den vorgesehenen Einsatzfall im Interesse sowohl hoher Empfindlichkeit wie guter Zuverlässigkeit einen Abgleich »vor Ort« vorzunehmen.

Weitere Varianten mit unterschiedlicher Auswirkung auf Grundpegel und Signalamplitude ergeben sich beim Einsatz einer 2seitig kupferkaschierten Senderplatte, deren rückseitige Elektrode ebenso an Masse gelegt wird wie bei der Empfangselektrode. In nicht geerdeten Systemen erwies sich diese Maßnahme als nützlicher als beim Einsatz mit Umgebungserde.

Angesichts dieser komplexen Bedingungen waren relativ zeitaufwendige Tests nötig, um zu den Erfahrungen zu gelangen, die in diesem Bauplan mitgeteilt werden. Wichtige Regel: Stets die Übersicht über die aktuellen Bedingungen behalten!

Insgesamt liegt eine Schaltung vor, die in einem gewissen Frequenzbereich ihre höchste Verstärkung hat. Auf Grund der sehr hochohmigen Eingänge genügen für diese Frequenzen an der oberen Grenze der Hörbarkeit schon Kapazitäten im Pikofaradbereich, um sowohl Resonanz- wie Koppelbedingungen zu verändern. Wer die Schaltung über einen hochohmigen Tastkopf mit einem Oszillografen untersucht, wird z. B. an Anschluß 12 des V4007D eine

verrauschte Schwingung von Resonanzfrequenz beobachten, die auch ohne angeschlossene Elektroden und bei stillgelegtem Generator vorhanden ist. Ihre Amplitude hängt vor allem von der Stellung des »V«-Widerstands zwischen Stufe 1 und Stufe 2 ab. Diese Schwingung entsteht durch selektives Verstärken und kapazitives Rückführen der in der Schaltung stets vorhandenen Rauschspannungen. Solange das Produkt aus auf den Eingang rückgeführter Spannung und Verstärkung bei richtiger Phasenlage unter 1 bleibt, hält sich dieser Zustand. Signale, die von außen – z. B. kapazitiv über eine Elektrode – dem Eingang zugeführt werden, sind bisweilen in der Lage, die Schwingbedingung zu erfüllen. (Solche Signale können z. B. auch vom Generatorteil stammen und auf den Eingang koppeln.) Besonders wenn man sie ohne Schirmfolie betreibt, kann die Anlage auf Grund dieser hohen Empfindlichkeit quasi »passiv« bereits als Indikator für Fremdkörper auf der Eingangselektrode benutzt werden. Dieser etwas kritische Zustand befriedigt jedoch nur selten. Also wird der Generator wieder aktiviert. Auf dem Oszillografen führt das meist zu einer Art Schwebungsbild, sofern die Sendefrequenz schon in der Nähe der Eigenfrequenz liegt. Am Generatorstellwiderstand kann auf Übereinstimmung abgeglichen werden. In diesem Falle reagiert das System später am empfindlichsten. Man muß das mit aufgesetzter Schirmfolie tun, sonst verändert sich die Optimalfrequenz noch. Was aber tun, wenn ein Oszillograf fehlt? Bild 34 zeigt einen Weg. Kleine Meßwerke, z. B. solche mit dem Rahmenmaß 48, gehörten mindestens 1987 häufig zum Handelsangebot. Mit 50 oder auch 100 µA Vollausschlag ist man sehr gut bedient. Damit daraus mehr als eine Abgleichhilfe wird, sollte der Vorwiderstand in Verbindung mit einem Voltmeter auf einen glatten Wert für Vollausschlag hin ausgewählt werden. Für 100 µA sind das etwa 47 kΩ, wenn z. B. 5 V Vollausschlag gewünscht werden. Infolge des Meßwerk-Eigenwiderstands wird etwas weniger als die Hälfte davon benötigt, wenn man z. B. außerdem noch einen 2,5-V-Meßbereich vorsieht. Während der 1. Bereich die Batteriespannung einschließt, eignet sich die höhere Empfindlichkeit des 2. Bereichs besser für den Abgleich der Schaltung. Allerdings ist damit auch eine höhere Schaltungsbelastung verbunden, was wiederum Konsequenzen bezüglich der endgültigen Einstellung haben kann. Für den Einsatz als Abgleichhilfe erhält das Instrument gleich noch eine spezielle Dioden-Kondensator-Schaltung, die der im Gerät benutzten ähnelt. Ihr Eingang (Masseanschluß nicht vergessen!) wird mit dem Ausgang 12 des V 4007 D verbunden. Dazu benutzt man einige Zentimeter Schirmleitung und ordnet das Meßwerk dicht an der Schaltung an. Dadurch bleibt seine Wirkung als Störspannungen aufnehmende Antenne klein. Die wenigen Teile lassen sich auf der Rückseite des Meßwerks in freier Verdrahtung oder auf einer kleinen Leiterplatte unterbringen.

Damit kann man eigentlich alle für Tests, Abgleich und Einstellung »vor Ort« erforderlichen Informationen gewinnen. Richtwerte bei 4 V Batteriespannung am Muster: Eigenpegel (am »V«-Steller bei stillgelegtem Generator und ohne Elektroden einstellen) etwa 0,3 V; Ruhepegel mit aktivem Generator und angeschlossenen Elektroden (wenigstens 70 cm Abstand vom Gerät und voneinander) je nach Erdungsbedingungen bei unterschiedlicher erforderlicher Einstellung des Eingangsstellers (!) etwa 0,9 V, Ansprechpegel etwa 1,4 V.

Man bedenke, daß die Meßmethode, wie schon angedeutet, Kompromisse enthält. Während sich der Gleichspannungsarbeitspunkt mit einem 100-µA-Meßwerk noch mit einem relativ kleinen Fehler kontrollieren läßt, belastet die Gleichrichterschaltung in Verbindung mit dem Meßwerk die Impulsspannungsquelle wesentlich stärker. Das liegt daran, daß die Ladezeiten für den Kondensator, der das Instrument speist, nur einen Bruchteil der Periode lang sind. Entsprechend höher liegen die Impulsströme, die in den Spannungsmaxima die Quelle am stärksten belasten. Gegenüber einer leerlaufnahen Messung mit dem 10-MΩ-Eingangswiderstand eines entsprechend ausgelegten Digitalvoltmeters ist nur mit einer etwa halb so großen Anzeigespannung zu rechnen. Daher geben die 1,4 V Ansprechwert auch keinen Aufschluß über die tatsächliche obere Triggerschwellspannung. Die Belastung des Punktes 12

durch die Meßschaltung erfordert nach Abtrennen der Abgleichhilfe darum meist eine kleine Korrektur des Eingangspegels am Eingangssteller nach unten hin. Ein solcher am Eingangsstecker angebrachter Steller ist günstiger als ein unnötig weites Zurücknehmen der Verstärkung am »V«-Steller, denn dadurch verschlechtert sich die Empfindlichkeit der Schaltung für die Nutzfrequenz; ihre Durchlaßkurve wird breiter und flacher.

Im ganzen überwiegen jedoch die Vorteile einer solchen einfachen Abgleichhilfe, denn sie macht die Schaltungsreaktionen »durchsichtiger«.

2.14. Einsatzbeispiele

Bild 35 zeigt einen typischen Einsatzfall: Unter der (trockenen!) Fußmatte eines Eingangs befindet sich die Empfangselektrode. Die Sendeelektrode ist in etwa 1 m Höhe auf der Innenseite der (nichtmetallischen!) Eingangstür angebracht. Das Gerät selbst hängt im Flur in der Nähe der Tür. Jeder Besucher, der die Matte betritt, wird in diesem Augenblick bereits vom Piezosummer gemeldet, noch während er den unter Umständen gar nicht vorhandenen, weil jetzt unnötig gewordenen Klingelknopf sucht ...

Neben diesem vielleicht nicht ganz ernsthaften Fall – es sei denn, es geht um unerwünschte Besucher – läßt sich eine solche feldabhängige Signaleinrichtung für manch sinnvolle Aufgabe einsetzen. So kann man z. B. beim Betreten eines Gefahrenbereichs akustisch gewarnt werden, ohne daß dazu eine aufwendigere Lichtschranke gebraucht wird. Überhaupt ist die Energiebilanz der vorgestellten Einrichtung vergleichsweise wesentlich günstiger.

In Verbindung mit einem Zähler bieten sich weitere Anwendungen an. Mit einem Flip-Flop gekoppelt und über einen daran angeschlossenen Triacschalter kann die Beleuchtung eines Raums beim Betreten ein- und beim Verlassen wieder ausgeschaltet werden. Um dabei Fehlauslösungen durch mehr als eine Person zu vermeiden, könnte sich vor und hinter dem Durchgang je ein Gerät befinden. Das vermag eine richtungsabhängige Information zu liefern, die man mit bekannten Schaltungen auswerten kann.

Für manche Zwecke ist es günstiger, beide Elektroden senkrecht in etwa 1 m Höhe zu montieren. Dabei muß – abhängig vom Abstand – wieder das beste Verhältnis zwischen Grundpegel (mit Sicherheitsabstand zur Schaltschwelle) und Ansprechverhalten bei Passieren dieser kapazitiven Schranke abgeglichen werden.

3. Ein TV-Zähler

Die im vorigen Abschnitt angesprochene Zählmöglichkeit läßt sich in Verbindung mit diesem Gerät auf eine besondere Art einsetzen. Es geht um das Registrieren der Einschaltdauer von Fernsehempfängern. Aber auch schon das Signalisieren dieses Zustands kann nützlich sein, wenn man diese Information in einen anderen Raum überträgt (Kinder und Fernsehen z. B. ...). Seitlich oder unter dem Bildschirmrand, ja sogar auf der Rückseite findet sich meist eine geeignete unauffällige Fläche für das Anbringen einer Folieelektrode, die die elektrischen Felder des eingeschalteten Geräts aufnehmen kann. Ausgewertet wird die Zeilenfrequenz, die infolge des Frequenzgangs unseres Verstärkers noch gut in dessen günstigsten Übertragungsbereich fällt.

Es braucht an der Gesamtschaltung also lediglich der Generator stillgelegt zu werden. Dazu genügt es, den Kondensator von 1,5 nF zu überbrücken. Der Ausgang führt dann ständig H.

Ein handelsüblicher preisgünstiger Analog-Quarzwecker ist das Bindeglied zwischen

dem Nur-Anzeige-Fall bei eingeschaltetem Fernsehempfänger (über Leuchtdiode oder Piezosummer) und der Registrierung der Einschaltzeit. Der geringe Strombedarf des Weckers erlaubt es, ihn unmittelbar aus der Schaltung zu betreiben. Dazu noch mehr. Bei 5 V maximaler Betriebsspannung liefert der Ausgang eines V-4093-Triggers nur etwa 5 mA. Da jeder Ausgang 100 mW verträgt, vermag selbst der direkte Anschluß einer Leuchtdiode ihn bei dieser Spannung nicht zu überlasten. 5 mA bedeuten bei 5 V und Kurzschluß nur 25 mW. Man erkennt, wie stark der Sinn mancher Schaltungsmaßnahme von der Betriebsspannung abhängt, wenn man sie nicht einfach aus Vorsicht oder hinsichtlich der Möglichkeit höherer Speisespannung anwendet. Bild 36 zeigt, was neben dem Totlegen des Generators in der Schaltung nach Bild 15 bis Bild 18 mindestens zu tun ist: Aus dem Quarzwecker wird die eigene R14-Zelle entfernt, und die Batteriekontakte werden in der richtigen Polarität mit der Leuchtdiode verbunden. Dadurch kann der Wecker nie mehr als die Flußspannung dieser Diode erhalten, und die liegt für den Typ VQA 13 dicht über 1,5 V.

Sofern das Gerät über längere Zeit in dieser Funktion genutzt werden soll, nimmt es noch unnötig viel Strom auf. Bei Anschluß eines Kondensators von etwa 4700 μF an die Batteriekontakte des Weckers kann der LED-Vorwiderstand jedoch auf etwa 1,2 kΩ erhöht werden. (Den Ursprungswert von 270 bis 330 Ω hätte man ohne diesen Kondensator vielleicht sogar verringern müssen!) Der Kondensator liefert die jeweils zum Weiterschalten nur kurzzeitig erforderlichen Spitzenströme und speichert zwischenzeitlich genügend Energie. Die Leuchtdiode, nun nur noch Spannungsbegrenzer, zeigt das durch leichtes Flackern im Uhrentakt an.

Wird die Uhr auf 0^{00} Ausgangsposition gebracht, summiert sie von da an die Fernsehzeiten bis zu einem Höchstwert von 12 Stunden. Von der Kapazität der eingebauten Spannungsquelle her kann eine ganze Woche summiert werden. Wiederaufladbare »Walkman«-Zellen sind für diese Einrichtung bei netzunabhängigem Betrieb die beste Lösung. Der Ruhestrom bei 3,8 V mittlerer Betriebsspannung beträgt nur etwa 1,4 mA; 2,7 mA wurden mit aktiviertem Zählteil gemessen (aktueller Vorwiderstand vor der Leuchtdiode 1,3 kΩ). Von den zu erwartenden täglichen Einschaltzeiten hängt es ab, ob wöchentliche Kontrolle reicht. Mit zusätzlichem Aufwand kann ggf. ein Übertrag gespeichert werden.

Die Anregung dürfte auch für andere Zwecke sinnvoll sein, etwa bei der Nutzung von Computern ohne eigene Zeitregistrierung.

4. Einfaches Meßmittel mit großem Nutzen

Alles Messen ist Vergleichen. Nur sind die »Normale« meist nicht mehr an der Messung beteiligt. Ein Meßverfahren dieser ursprünglichen Art ist uns jedoch erhalten geblieben: die Brückenmessung, beliebtes Übungsfeld entsprechender Unterrichtsfächer. Das erlaubt Konzentration auf das Praktische. Eine solche Brücke hat zudem einen großen Vorzug: Man kann jederzeit nachprüfen, ob sie die Größenordnung, in der ein gesuchter Wert vermutet wird, überhaupt noch mit ausreichender Aussagekraft verarbeitet. Zu diesem Zweck genügt es oft schon, ein in seinem Wert verläßlich bekanntes Bauelement als Prüfling anzuschließen. In dem für unser Thema interessanten Fall der Kapazitätsmessung heißt das:

- Lassen sich mit der vorhandenen Brücke überhaupt Kapazitäten messen?
- Reicht für die zu erwartenden Werte die Signalquelle in Spannung und niedrigem Innenwiderstand aus?
- Ist das zu suchende Minimum genügend sauber zu ermitteln?

Zunächst muß gefragt werden, welche Brücke »vorhanden« ist. Das Erscheinen des vorliegenden Bauplans fällt in das Jahr, in dem auch das neue Bauplan-Bastel-Buch 3 in den Buchhandel gelangt. Seine Erarbeitungszeit war naturgemäß wesentlich länger als die eines Bauplans. So wird die in jenem Buch enthaltene Meßbrücke (Bild 37 zeigt eine Außenansicht) noch von 2 Kleinakkumulatoren des Typs RZP 2 gespeist. Solange sie genügend dicht bleiben, kann man sie viele Male nachladen. Funktioniert das nicht mehr, betreibt man die Brücke am besten über eine von außen zugeführte Spannung von 4,5 V. Da auch für diese Brücke bereits ein Kassettencontainer als Gehäuse verwendet wurde, liegt es nahe, eine Batteriekammer in der Art der in Bild 25 gezeigten zu bauen. Die zentrale Lage des größeren der beiden in der Brücke benutzten Potentiometer und der Volumenbedarf der übrigen Bauelemente lassen nicht unmittelbar eine andere Anordnung zu. Es fällt also nicht ganz leicht, 3 Zellen R 6 in der vorgegebenen Anordnung unterzubringen. Daher die Empfehlung im Sinne von Bild 25. Der in diesem Bild gezeigte Batterieadapter wird z. B. um ein Querstück ergänzt, das 2 Federblechstückchen trägt. Unter Beachten der richtigen Polaritätszuordnung ergeben diese Bleche Kontakt mit 2 nur kurz aus der Meßbrücke herausragenden 1-mm-Steckerstiften. Diese Stifte werden nachträglich links und rechts in den bisherigen Batteriekontaktträger eingebaut. Zwei weitere kurze Stifte können den Behälter in entsprechenden Bohrungen arretieren, wie Bild 38 andeutet. Dort sind 2 Varianten dargestellt: eine weniger aufwendige, die den unveränderten Containerdeckel benutzt, und eine »solidere«. Für sie wird der Deckel am Rande der R 6-Zellen angesägt. Das abgesägte Stück klebt man dann auf die eine und ein weiteres Polystyrolstück auf die andere Seite. Dafür läßt sich ein Rest der übrigen Hülle benutzen. Aber das sind nur Anregungen für zahlreiche weitere mögliche Lösungen.

Bei verändertem Batterieadapter kann man übrigens in diesen Raum auch statt 3 Zellen 4 einsetzen, was für den Minimumbereich der Anzeige günstiger sein kann. Es ist aber auch möglich, 3 R 6-Elemente direkt in der Meßbrücke unterzubringen. Dazu muß allerdings der Bereich um Generator, C_X-Buchsen und Hörerbuchse umgeordnet werden. Auch der Simeto-Schalter ist dann dort mit einzubauen.

Im Vordergrund dieser Anregung steht jedoch die Meßbrücke selbst. Sie gestattet in ihrer ursprünglichen Form das Bestimmen von Widerständen zwischen etwa 1 kΩ und 1 MΩ, wenn das große Potentiometer in Mittelstellung steht (Faktor 1). Durch Verstellen dieses Potentiometers erweitert sich der Bereich um etwa je 1 Zehnerpotenz nach oben und unten. Das vereinfacht das Ablesen bei entsprechenden Kompromissen bezüglich der Treffsicherheit auf der kleinen Skale des Bereichspotentiometers. Mit diesem wird das sonst übliche Brückenprinzip mit schaltbaren Bereichswiderständen durchbrochen. Bei ihm war auf jeden Fall Rechnen nötig, (Multiplizieren des Bereichswiderstands mit dem ermittelten Teilerfaktor).

Das vorliegende Gerät arbeitet in gewissem Sinne umgekehrt, läßt aber auch die andere Art zu. Seine normale Bedienung mit »gleitend« einstellbarem Vergleichswiderstand und festem, dekadisch gestuftem Teilerfaktor war für Widerstands-Schnellbestimmung gedacht ohne große Ansprüche an die Genauigkeit. Man denke an die vielen Unsicherheiten in der Amateurpraxis, vom abgeplatzten Lack, der ein Stück Kohleschicht mit sich nahm, bis zur verwischten oder durch Überlastung verfärbten Kennzeichnung. Darum sollte ein falscher oder defekter Widerstand besser schon vor dem Einbau erkannt werden. Das spart viel Arbeit. Dieses »Im-voraus-Testen« sollte daher bei jedem Bauobjekt angewandt werden. Nutzer digitaler Widerstandsmeßgeräte werden die Brücke für diesen Zweck sicherlich nicht benötigen, doch der Großteil der Bauplanleser ist wohl noch etwas bescheidener eingerichtet.

Für den vorliegenden Bauplan wurde erstmals das überschlägige Bestimmen ziemlich unbekannter Kapazitätswerte zu einer zentralen Entwicklungsaufgabe. Die vorgestellte Brücke bietet die Möglichkeit, auch Kapazitäten zu testen. Dazu bedient man sich aber wieder der sonst üblichen Brückenart mit (steckbaren) Vergleichskapazitäten. Allerdings gibt es dabei das bekannte Problem: Kapazitäten sind Blindwiderstände, bei denen (ideal) der Strom der Spannung um 90° voreilt. Sind nun noch ohmsche Widerstände im Spiel, verändert das die

Minimumbedingungen. Die Brückenfrequenz im Hörbereich grenzt gemäß $X_C = 1/\omega C$ also den ohne größere Unsicherheiten nutzbaren Wertebereich für C-Messungen ein. Das gilt besonders, wenn das R-Bereichspotentiometer mangels Platz für einen weiteren Schalter im Meßkreis bleibt, wenn auch auf Höchstwert gestellt. Die Formel, die auch erkennen läßt, warum bei der C-Messung unbekannter und Normalwert vertauscht sind, gibt die brauchbaren Größenordnungen an.

Praktisch können in der Buchvariante Kapazitäten ab etwa 470 pF bestimmt werden. Nach oben zu läßt sich das Minimum noch bis etwa 1000 μF erkennen (Normal-C 1000 oder 100 μF).

Bei kleinen Kapazitäten verhindert der vom nicht abgeschalteten Potentiometer bedingte Einfluß sicheres Messen. Für die vorliegende Aufgabe wurde daher im Gerät eine kleine steckbare Kontaktbrücke vorgesehen, die das Potentiometer nur für die R-Messung anschließt. Jetzt ist es nur noch eine Frage des Gehörs, wie kleine C-Werte noch erkannt werden können. In ruhiger Umgebung erreicht man leicht eine untere Grenze von 10 pF. Mit bekannten gleichen Werten (durch Vertauschen bezüglich der Buchsen läßt sich das überprüfen) kann nun zunächst die Verteilung der Schaltkapazitäten ermittelt werden. Sie legen ja nicht nur die untere Nachweisgrenze fest, vor allem fälschen sie die Ergebnisse. Bei gleich großem Einfluß auf beiden Seiten würde man mit genügend feinem Gehör wieder Nullabgleich in Skalenmitte erzielen. Die Schaltkapazitäten liegen kaum unter 10 pF. Aus der bei Anschluß gleicher Kapazitäten (z. B. je 47 pF) auf beiden Seiten ermittelten Abweichung vom Faktor 1 kann man ermitteln, wieviel Grundkapazität man auf der anderen Seite zuschalten muß, um den Ausgleich zu erzielen. Diese Schaltkapazitäten fälschen aber die Meßergebnisse bei kleinen Kapazitäten um so stärker, je weiter Normal- und unbekannter Kondensator voneinander abweichen. Man kann jedoch mit solchen Messungen auch die Absolutwerte der »Nullkapazitäten« ermitteln. Außerdem reicht es meist, wenn die Normalkondensatoren in Stufen mit dem Faktor 1,5 (besser 1,2) vorliegen, damit auch Kapazitäten unter 100 pF nicht allzu ungenau ermittelt werden.

Aus dem Problem »Meßbrücke« wurden im vorliegenden Rahmen bewußt nur die beiden Einzelheiten Speisung und C-Messung herausgegriffen. Das ergänzt die Ausführungen im genannten Buch, in dem auf alle anderen Fragen eingegangen worden ist. Der abschließend gezeigte Stromlaufplan der Brücke (Bild 39) wird daher ohne weitergehende Erläuterungen wiedergegeben. Auf jeden Fall reichen diese Vorgaben aus, Messungen kleinerer Kapazitäten für die Zusammenhänge des vorliegenden Bauplans mit der für diese Zwecke ausreichenden Treffsicherheit bei Bedarf vorzunehmen. Und eine Meßbrücke mit Tonfrequenzspeisung läßt sich so auf jeden Fall schnell gewinnen und nutzen.

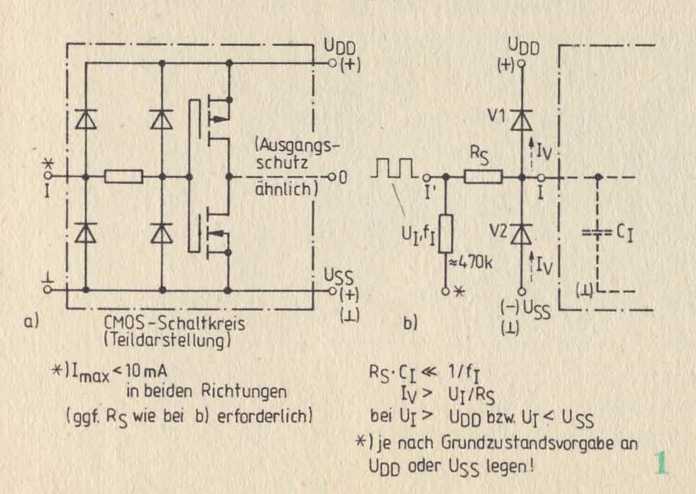


Bild 1 Schutz von CMOS-Eingängen vor äußeren Spannungen, die die Betriebsspannungsgrenzen überschreiten; a – in den meisten Typen vorhandene integrierte Schutzdioden mit begrenzter Strombelastbarkeit, b – externe Zusatzmaßnahmen. Der Widerstand am Eingang gegen U_{DD} bzw. U_{SS} ist erforderlich, wenn keine Quelle mit Gleichstromweg bzw. definiertem H- oder L-Pegel fest angeschlossen ist

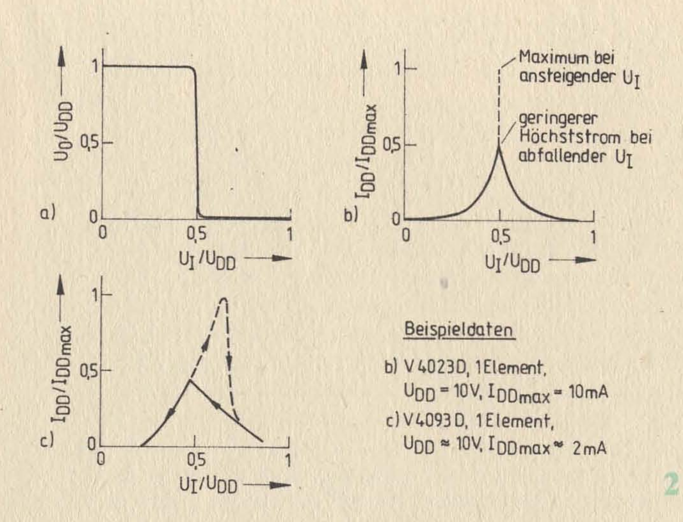
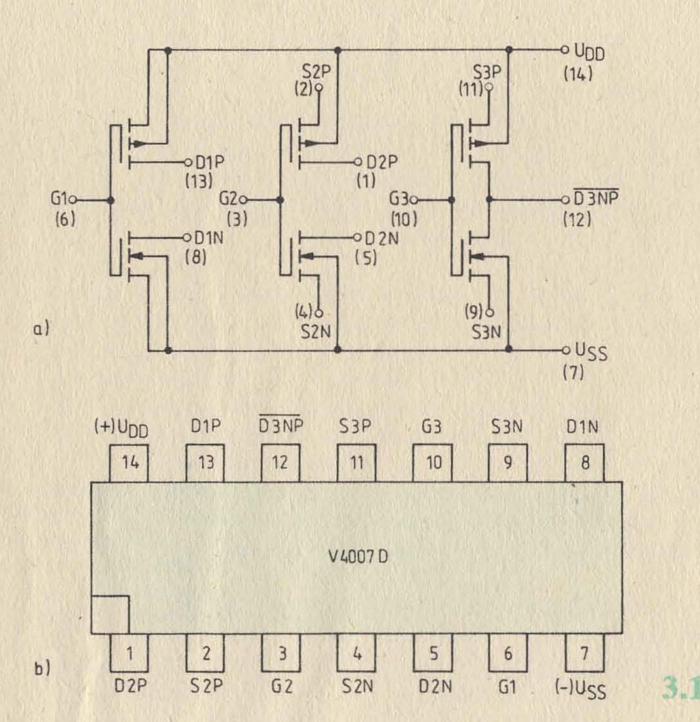
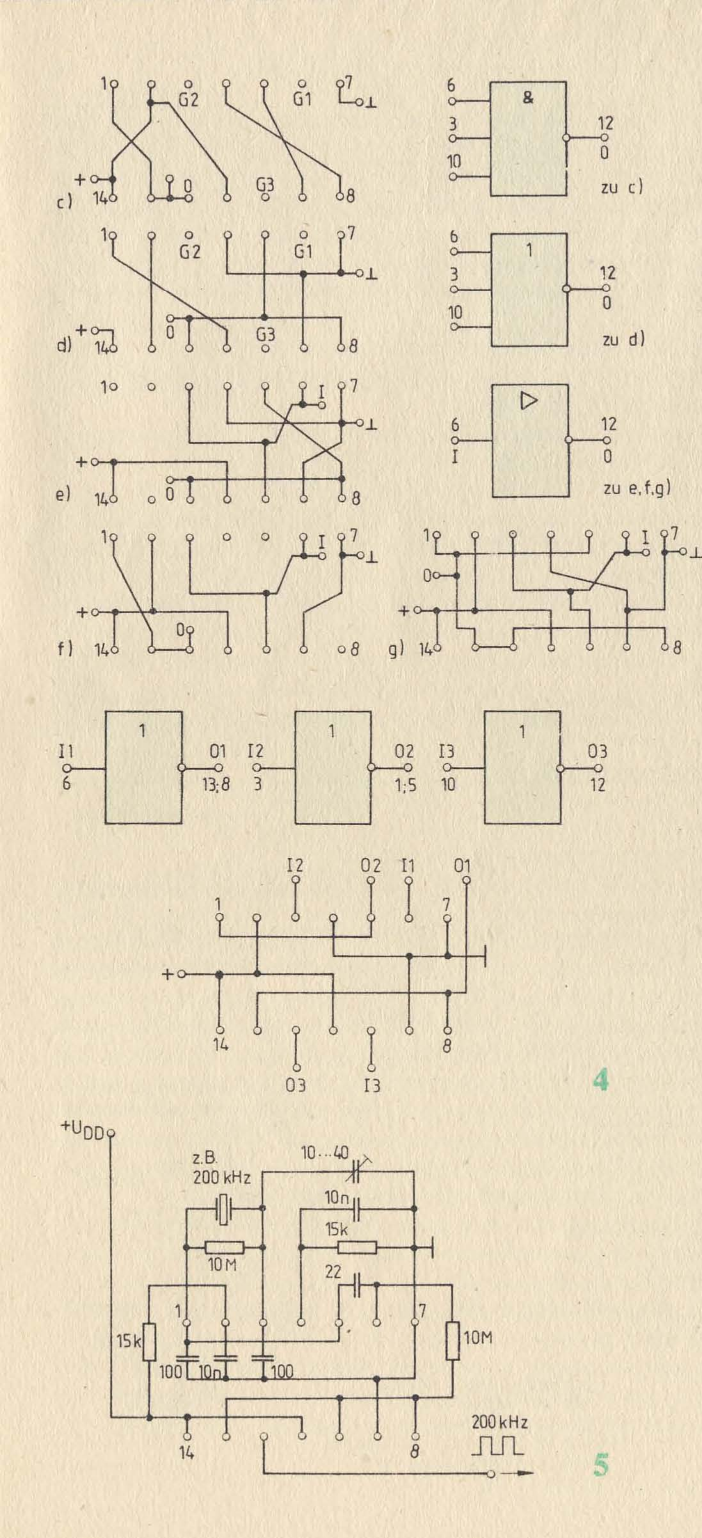


Bild 2 Querstrom in CMOS-Strukturen ergibt sich, wenn die Eingangsspannung im mittleren Bereich zwischen U_{DD} und U_{SS} liegt (Meßwerte als Beispiel); a – Übergangskennlinie von Inverterstrukturen, b – Gatter V 4023 D (1 Element), c – speziell für diesen Bereich zugelassenes Schmitt-Trigger-NAND V 4093 D



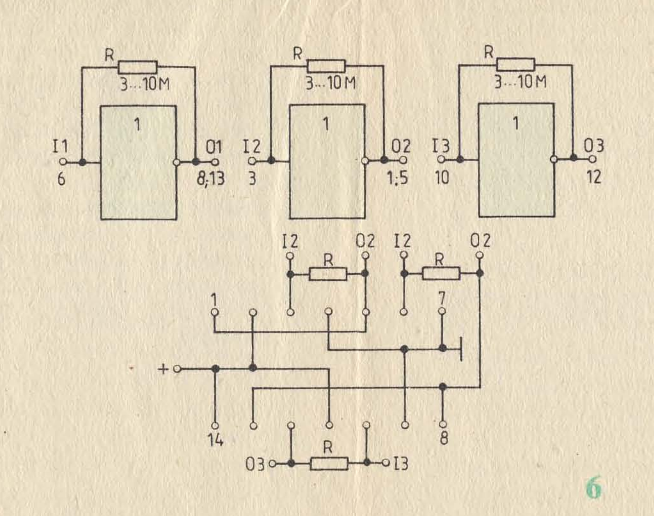


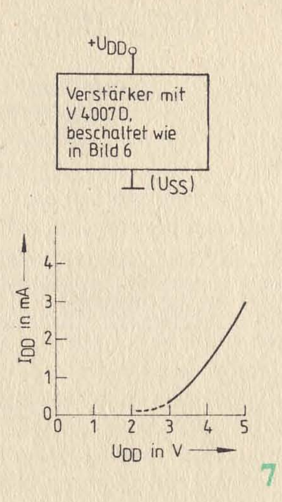
3.2

Bild 3 Vielseitiger CMOS-Schaltkreis V4007D: Je nachdem, welche Anschlüsse miteinander verbunden werden, erhält man unterschiedliche Wirkungen; a – Innenschaltung, b – Anschlußbelegung in üblicher Draufsicht, c – NAND mit 3 Eingängen, d – NOR mit 3 Eingängen, e – Treiber mit großem L-Strom, f – Treiber mit großem H-Strom, g – Treiber mit großem Ausgangsstrom in beiden Richtungen (c bis g mit Blick auf die Lötseite, für Verdrahtung günstiger), Verdrahtung für 3 Inverter siehe Bild 4!

Bild 4 So läßt sich der V4007D zu 3 Invertern bzw. zu einem 3stufigen Analogverstärker verknüpfen

Bild 5 Einsatzbeispiel für den V4007D in analoger Betriebsart: Quarzgenerator





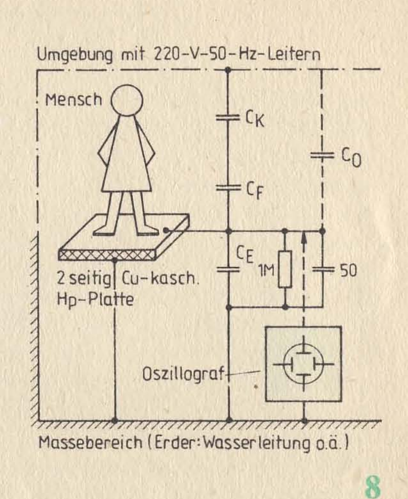


Bild 6 Notwendige Mindestbeschaltung der Stufen des V4007D für Einsatz als Analogverstärker

Bild 7 Stromaufnahme eines Analogverstärkers mit V4007D in Abhängigkeit von der Betriebsspannung im interessierenden Bereich

Bild 8 Der Mensch als elektrische Kapazität im Zusammenhang mit seiner Umgebung (Deutungsversuch nach Meßergebnissen; nicht eingezeichnet: Körper-C gegen Masse)

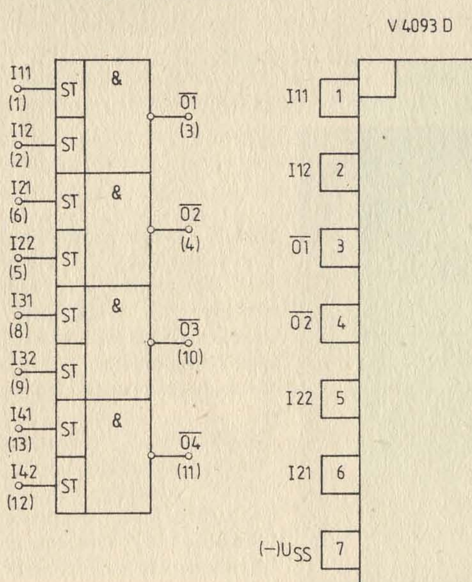


Bild 11 Wenn die passende Fassung fehlt: Aus einer Schaltkreisfassung größerer Breite (und höherer Anschlußzahl) kann man z.B. 14polige DIL-Fassungen mit 7,5 mm Reihenabstand gewinnen

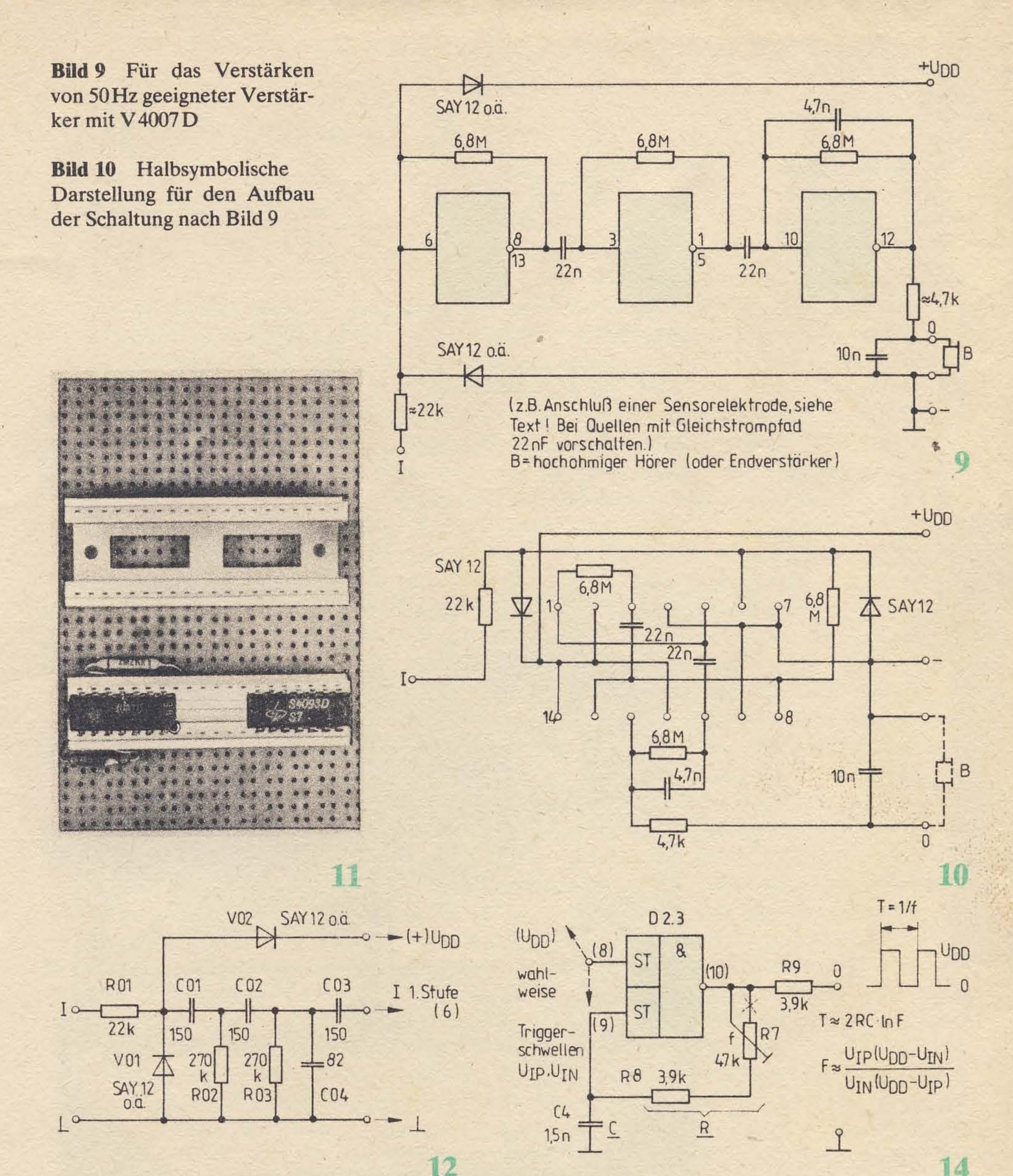
Bild 12 Eingangsfilter mit 2 Aufgaben: Unterdrücken des Netzbrumms auch hoher Amplituden und Bandpaßverhalten in Verbindung mit den weiteren Zeitkonstanten der Schaltung. Beschriftung gilt bereits für Gesamtgerät!

Bild 13 Schmitt-Trigger-NAND V4093D: a – Innenschaltung, b – Anschlußbelegung

Bild 14 »Einfachst«-Generator mit ¼ V4093D mit einstellbarer Frequenz. Die Gleichung gilt genügend genau für R zwischen 50 kΩ und 1 MΩ sowie C zwischen 100 pF und 1 μF. Die Beschriftung bezieht sich bereits auf das Gesamtgerät! (Auf der Leiterplatte ist oberer Anschluß von R7 frei)

Bild 9 Für das Verstärken von 50 Hz geeigneter Verstärker mit V 4007 D

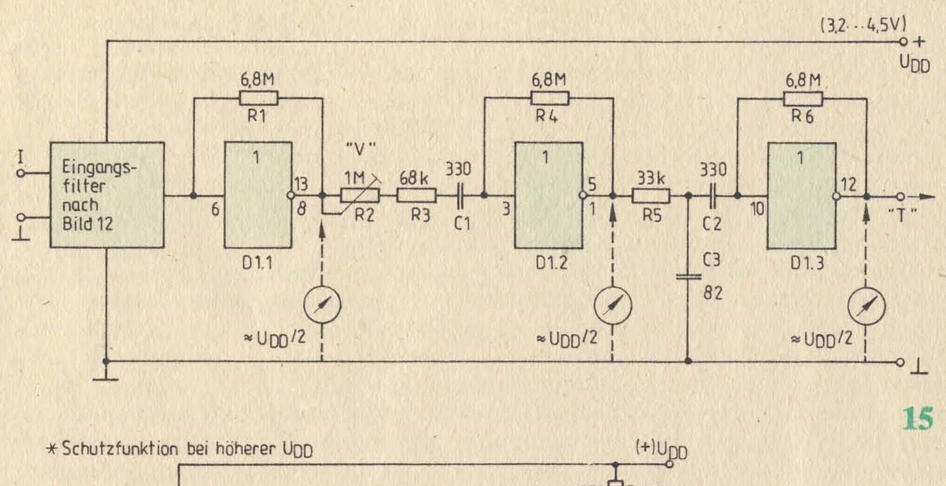
Bild 10 Halbsymbolische Darstellung für den Aufbau der Schaltung nach Bild 9



Schlenzig, Klaus:
Schalten und Zählen mit Kapazitäten. – Berlin: Militärverlag der DDR, 1989. – 32 Seiten: 39 Bilder – (Bauplan 69)

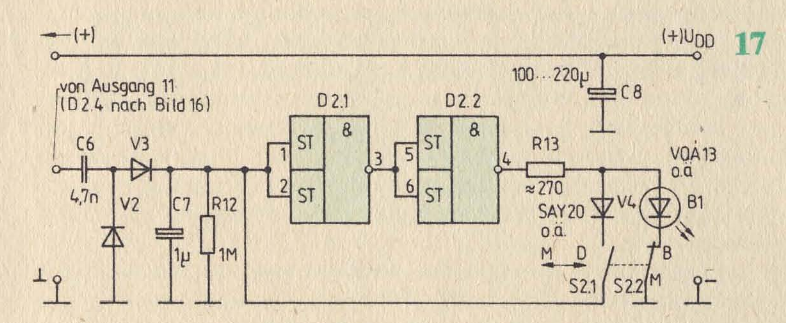
ISBN 3-327-00781-0

1. Auflage, 1989 · · Lizenz-Nr. 5 · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Lektor: Reiner Erlekampf · Typografie: Catrin Kliche · Redaktionsschluß: 18. April 1988 · LSV: 3539 · Bestellnummer: 7472128 · 00100



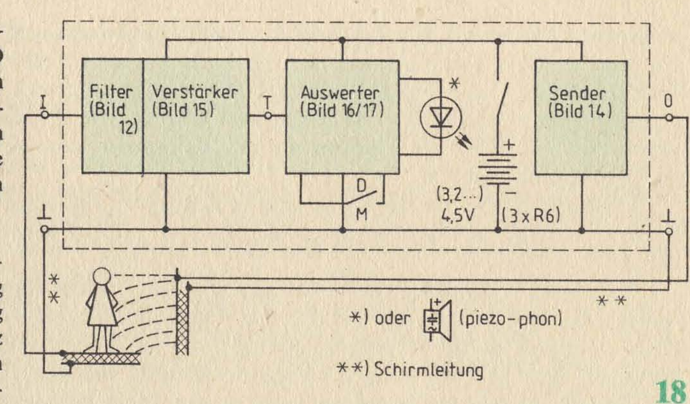
15

Bild 15 Selektiver Tonfrequenzverstärker mit V 4007 D mit Eingangsfilter nach Bild 12 zur wirksamen Unterdrückung von Störungen durch die Netzfrequenz. Die Beschriftung gilt wiederum bereits für das Gesamtgerät!



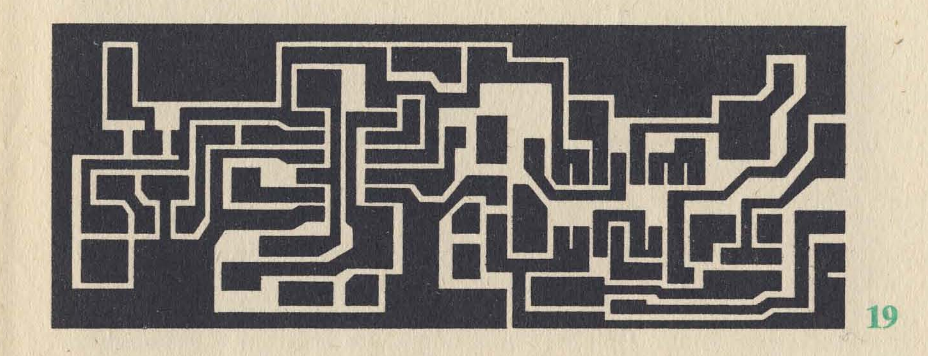
16

Bild 16 Sinnvoller Mindestaufwand für die Auswertung der tonfrequenten Signalspannung aus dem V 4007 D. Das 1. Triggerelement bringt ausgangsseitig einen geringeren Innenwiderstand in die Schaltung, die dadurch insgesamt empfindlicher wird als bei Anschluß der Gleichrichterschaltung direkt an den V 4007 D



17

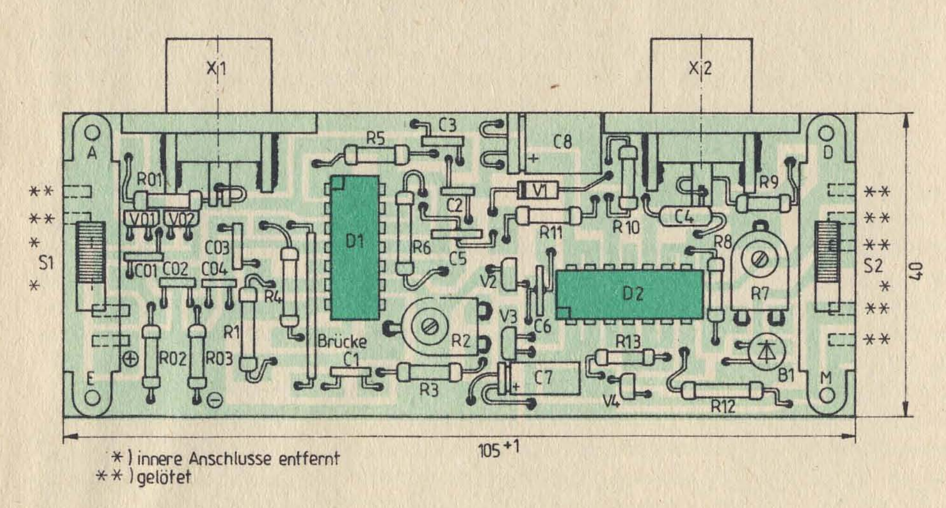
Bild 17 Erweiterung der Schaltung nach Bild 16: Das zusätzliche Triggerelement verleiht ihr auf Wunsch Speicherverhalten



18

Bild 18 Übersichts-Gesamtschaltung einer Einrichtung mit kapazitiver Übertragung der eigenen Sendefrequenz und Umschaltung zwischen Direktbetrieb und Speicherbetrieb

Bild 19 Leiterplatte zu Bild 18 für SMD-Montage



19

Bild 20 Bestückungsplan zu Bild 14 bis Bild 18 und Bild 19. Die Lötstellen der Schaltkreisanschlüsse wurden nicht dargestellt, da laut Text Varianten möglich sind

(figure 20)

20

Stückliste zu Bild 12, Bild 14 bis Bild 17 und Bild 20

Widerstände

R01 22 kΩ
R02 270 kΩ
R03 270 kΩ
R1 6,8 MΩ
R2 1 MΩ Einstellpotentiometer Größe 05, liegend
R3 68 kΩ
R4 6,8 MΩ
R5 33 kΩ
R6 6,8 MΩ
R7 47 kΩ Einstellpotentiometer Größe 05, liegend
R8 3,9 kΩ
R9 3,9 kΩ
R10 470 kΩ ... 1 MΩ
R11 1,5 kΩ
R12 1 MΩ
R13 270 Ω

Kondensatoren

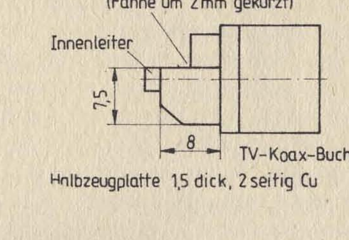
C01 150-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C02 150-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C03 150-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C04 82-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C1 330-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C2 330-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C3 82-pF-Keramik-Scheibenkondensator
C4 1,5-nF-Kunstfolie-Kondensator
C5 4,7-nF-Keramik-Scheibenkondensator
C6 4,7-nF-Keramik-Scheibenkondensator
C7 1-µF-/16 ... 40-V-Elektrolytkondensator, stehend (liegend montiert)
C8 100 ... 220-µF-/6,3-V-Elektrolytkondensator, stehend (liegend montiert)

Halbleiterbauelemente

V01 Silizium-Planardiode SAY 12 o. ä.
V02 Silizium-Planardiode SAY 12 o. ä.
V1 Silizium-Planardiode SAY 20 o. ä. (axiale Ausführung)
V2 Silizium-Planardiode SAY 20 o. ä.
V3 Silizium-Planardiode SAY 20 o. ä.
V4 Silizium-Planardiode SAY 20 o. ä.
B1 Leuchtdiode VQA 13 o. ä.
D1 CMOS-Schaltkreis V 4007 D
D2 CMOS-Schaltkreis V 4093 D

Sonstiges

B1 Piezosummer »piezo-phon« statt oder parallel zu VQA 13
S1 Simeto-Umschalter, 1 × Ein genutzt
S2 Simeto-Umschalter, 1 × Aus, 1 × Ein genutzt
X1 TV-Koax-Buchse
X2 TV-Koax-Buchse
G1 Batterie aus 3 × R6 (wahlweise als NK-Zellen)
Leiterplatte nach Bild 19, bestückt nach Bild 20
Kassettencontainer
NF-Schirmleitung
2 TV-Antennenstecker
2seitig kupferkaschiertes Isoliermaterial (Hp, Cevausit)
Sikuflex-Folie



24a

21

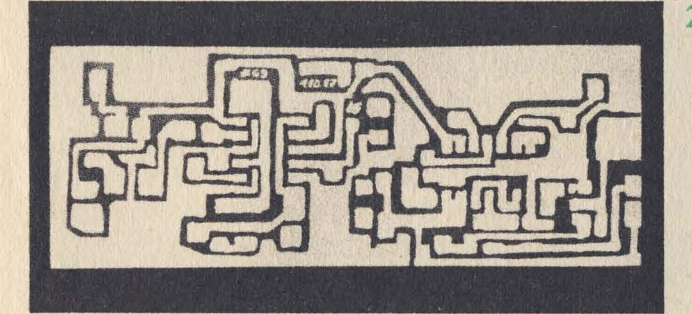
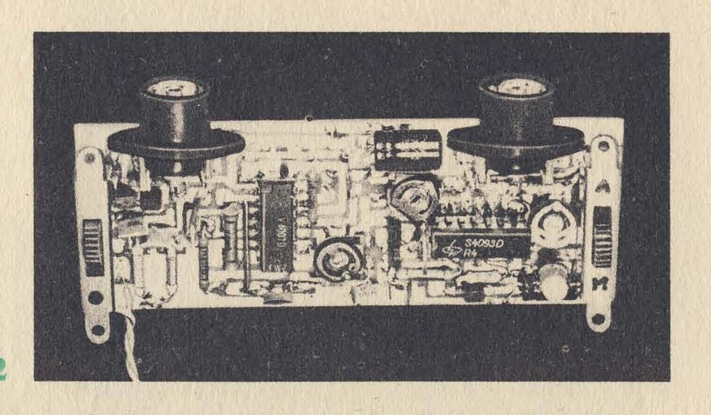


Bild 21 Handmuster-Leiterplatte

Bild 22 Bestückte Musterplatte

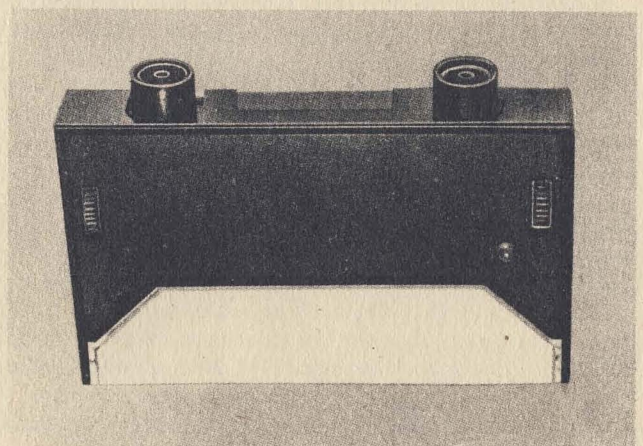


22

Bild 23 Gehäuse der Einrichtung ist wieder ein Kassettencontainer, Ansicht der Bedienseite (noch unbeschriftet)

Bild 24 Montage der Koax-Buchsen; a – Maßskizze, b – Ansicht der zum Einlöten vorbereiteten Buchse

Bild 25 Batteriekontakt-Adapter, Richtwerte für die Gestaltung



23

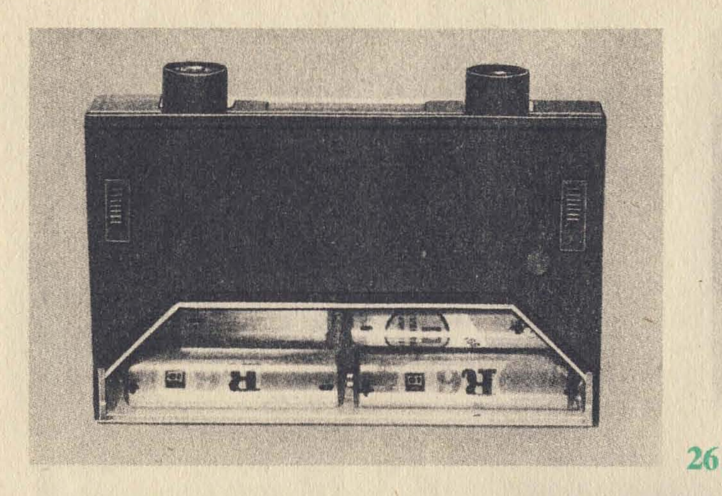




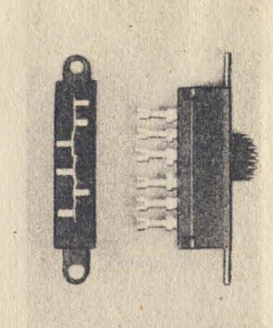
24b

gelötet
gelötet
13
48
Material: Cevausit; 1,5 dick;
2 seitig Cu-kaschiert
Cu-Folienstreifen
beidseits (versetzt) abgeschält
24
gelötet
14
4
4
⊖ ⊕
Anschlüsse für Gerät
Draht auf lange Platte gelötet

25



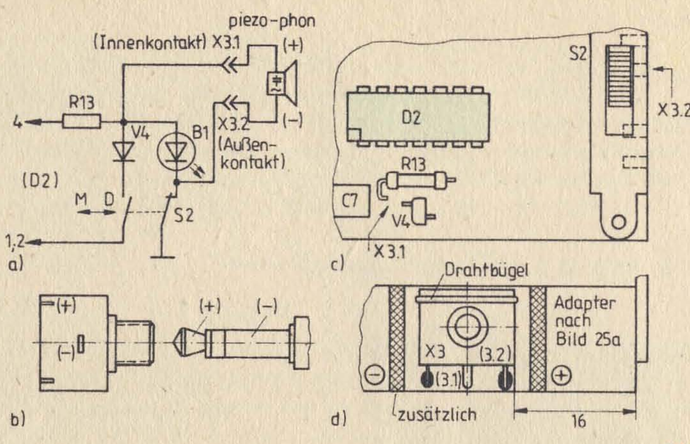
26



27

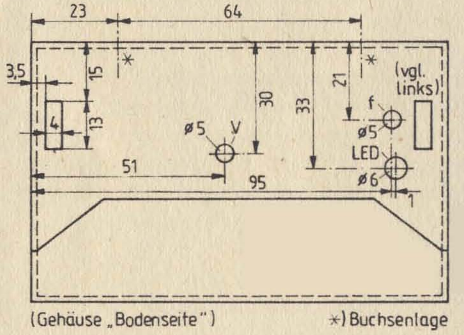
Bild 26 So wirkt die Kombination von 3 × R6 als 4,5-V-Batterie

Bild 27 Die beiden Simeto-Schalter müssen vorbehandelt werden (Lötfahnen beschneiden und nach Leiterbild umbiegen)

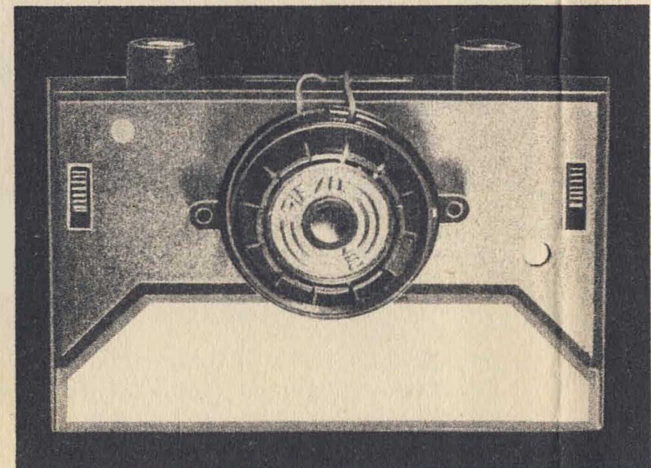


31

32



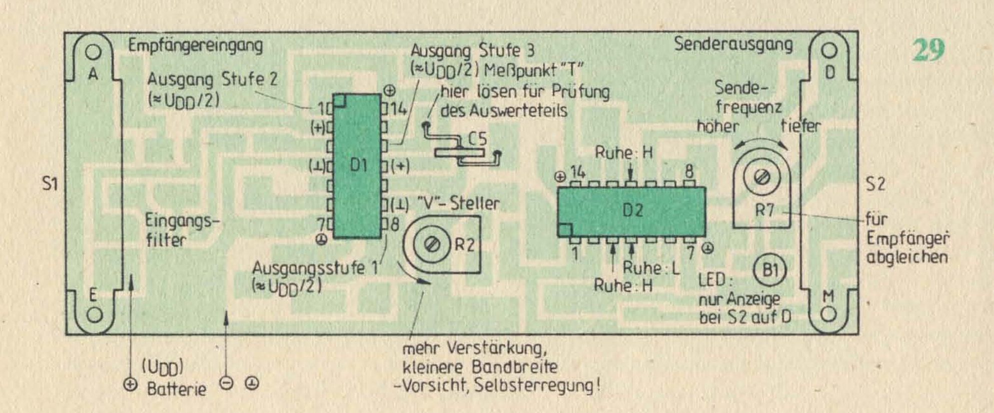
28



30

Bild 28 Gehäusedurchbrüche (Richtwerte)

Bild 29 Abgleichplan mit wichtigen Meßpunkten

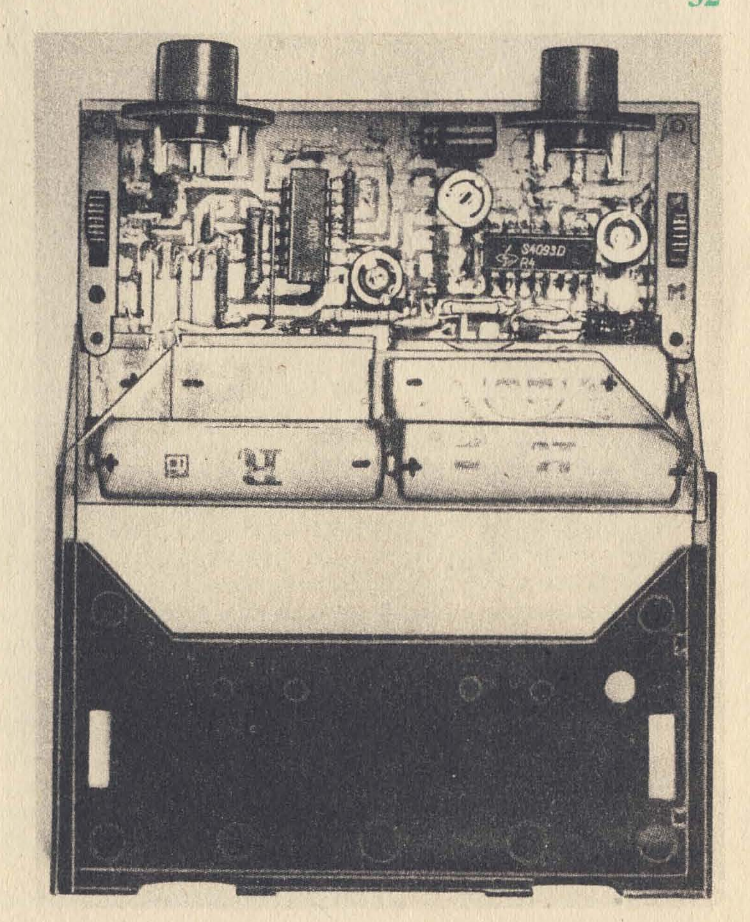


29

Bild 30 Die Piezokapsel kann einfach auf der Außenseite des Containers befestigt werden

Bild 31 Vorschlag für Einbau einer Ohrhörerbuchse zum steckbaren Anschließen der Piezokapsel (Bild 25a lies Bild 25!)

Bild 32 Innenansicht des aufgeklappten Fertigmusters



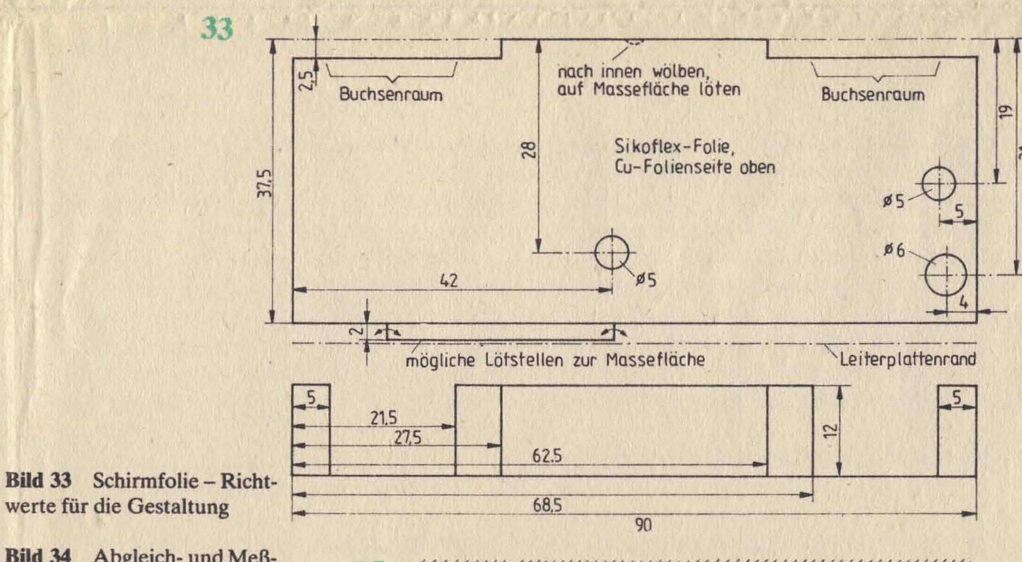
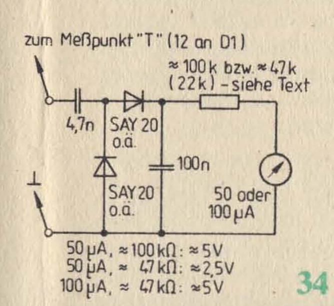
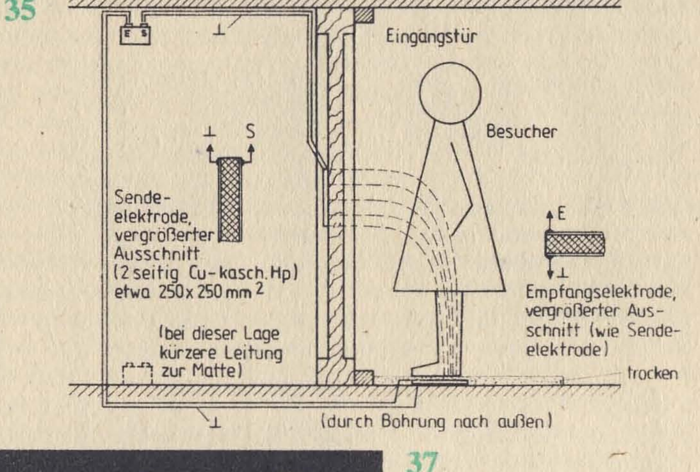


Bild 33 Schirmfolie – Richtwerte für die Gestaltung

Bild 34 Abgleich- und Meßhilfe

Bild 35 Einsatzfall »Besuchersignal«





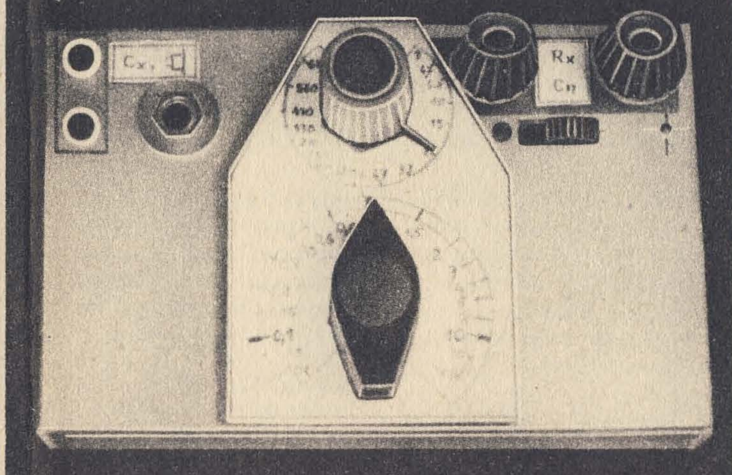


Bild 37 Die im neuen »Bauplan-Bastel-Buch 3« enthaltene Meßbrücke, dort noch vorrangig für Widerstände, wird im vorliegenden Bauplan bezüglich ihrer C-Meßeigenschaften »ausgereizt«

Bild 39 Die gegenüber »Bauplan-Bastel-Buch 3« bezüglich Messung kleiner Kapazitäten leicht veränderte Schaltung der tonfrequent betriebenen R- und C-Meßbrücke

Bild 36 »TV-Zähler«: Anschluß eines Quarzweckers an die Schaltung nach Bild 16 und Bild 17. Die Uhr läuft, solange die Empfangselektrode Spannung mit Zeilenfrequenz vom Fernsehempfänger kapazitiv aufnimmt

Bild 38 Der Batterieengpaß bezüglich des ursprünglich gewählten Typs läßt sich z. B. mit einem R6-Adapter ähnlich Bild 25 beheben (Vorschläge)

